

Diseño de una planta de tratamiento de agua automatizada portable mediante el método de osmosis inversa para optimizar del funcionamiento de las máquinas de hemodiálisis

Samuel Isaac Mora Rodríguez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería – ECBTI

Programa de Ingeniería Electrónica

Corozal

2019

**Diseño de una planta de tratamiento de agua portátil automatizada para optimizar el
funcionamiento de las máquinas de hemodiálisis**

Samuel Isaac Mora Rodríguez

Proyecto aplicado como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico

Director:

Ing. Wilson Jesus Arrubla Hoyos

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería – ECBTI

Programa de Ingeniería Electrónica

Corozal

2019

Dedicatoria

Inicialmente quiero agradecer a Dios por darme la vida, por otorgarme las actitudes que me hacen la persona que soy hoy día, inteligente, creativo y humilde, por darme la oportunidad y el valor de seguir y luchar por mis sueños y metas guiándome poco a poco por el camino del éxito lleno de perseverancia y sacrificio, como prueba de ello, es el permitirme llegar a este momento tan importante en mi vida y mi formación como profesional. A mi madre Carmen Rodríguez Gómez quien es la persona más importante en mi vida, otorgándome su amor y apoyo incondicional en todo el transcurso de mi vida para salir adelante y luchar por todo lo que se desea en la vida con los valores morales que me infundo en mi crecimiento convirtiéndose en un icono de superación personal en mi vida. A mi padre Otto Cesar Mora (QEPD) que es mi imagen de superación, siempre me apoyo emocionalmente y fue quien me adentro al mundo de la electrónica gracias a sus conocimientos y enseñanzas, a mis hermanos, familiares y amigos más cercanos por el apoyo moral sin permitir que desistiera de mi profesión en los momentos más difíciles.

Samuel Isaac Mora Rodríguez

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme la bendición y protegerme en este camino brindándome la fuerza y voluntad para levantarme cada que caigo y superar las adversidades que se presentan en la vida junto con mi madre quien me dio el apoyo y el impulso para continuar con mi formación profesional apoyándome de muchas formas.

Agradezco a la profesora Ana María Martínez y a los ingenieros Wilson Arrubla y Erick Barrios, por asesorarme y brindarme la enseñanza adecuada para tomar las mejores decisiones y saber enfrentarme a problemas relacionados con mi carrera, a estos dos ultimo les agradezco el tenerme en cuenta e invitarme a formar parte del semillero ENGINE el cual me ha ayudado a crecer profesionalmente para desarrollar este proyecto.

Por último, pero no menos importante a mi compañero Renzon Coavas que gracias al por involucrarme en este proyecto me ayudara a crecer profesionalmente brindándome la oportunidad de obtener muchos conocimientos al momento de realizar este proyecto.

Samuel Isaac Mora Rodríguez

Lista de símbolo y abreviaciones

Lista de símbolos

Símbolo	Termino	Unidad SI
A	Área	m ²
V	Volumen	m ³
Q	Caudal	m ³ /s
P	Pascal	Pa
v	Velocidad	m/s
L	Longitud	m
F	Frecuencia	Hz
J	Julios	N*m
t	Tiempo	S

Símbolo	Termino
K	Temperatura en Kelvin
Kg	Masa en kilogramos
S	Conductancia en siemens
Ω	Resistencia en ohmios
W	Potencia eléctrica en vatios

Conversiones

Símbolo	Termino	Equivalencia
min	minutos	60 s
h	hora	3600 s
GPM	Galones por minuto (US)	15850,3 m ³ /s
GPD	Galones por día (US)	22820000 m ³ /s
LPM	Litros por minuto	60000 m ³ /s
l/h	Litro por hora	3,6x10 ⁶ m ³ /s
PSI	Libra por pulgada cuadrada	0,000145038 pa
kPa	kilo pascal	0,001 pa
MPa	mega pascal	1x10 ⁶ pa
l	litro	0,001 m ³
ml	Mililitro	1x10 ⁻⁶ m ³
mm	milímetro	0,001 m
μ m	micrómetro	1x10 ⁻⁶ m
nm	nanómetro	1x10 ⁻⁹ m
“	Pulgada	0,0254 m
mA	Miliamperio	0,001 A
MHz	Mega Hertz	1x10 ⁶ Hz

GHz	Giga Hertz	1×10^9 Hz
ν	Viscosidad cinemática (25 °C)	$8,93 \times 10^{-7}$ m ² /s
g	Velocidad gravedad	9,81 m/s ²
ρ	Densidad del agua 25 °C	997,13
Ec	Conductividad eléctrica	S/m
ϕ	coeficiente osmótico	1
°C	Grado Celsius	273,15 K

Lista de abreviaturas

HD: Hemodiálisis.

LD: Liquido de diálisis.

TRA: Tratamiento de agua

NPT: National Pipe Thread, (rosca nacional de tubos).

LCD: Liquid Cristal Display, (Pantalla de cristal líquido).

TFT: thin-film transistor" (transistor de película delgada).

OD: Outer diameter (diámetro exterior).

BSP: British Standard Pipe Taper thread (Rosca cónica estándar británica).

VDC: Voltaje Directo.

TDS: Total dissolved solids (Solidos disueltos totales).

UV: Ultra violeta.

Ppm: partes por millón.

mg/l: Concentración másica en miligramo por litro.

r: Rechazo.

Q_p: Caudal permeado.

Q_a: Caudal alimentación.

Q_r: Caudal de rechazo.

ΔP : Gradiente de presión.

$\Delta \pi$: Gradiente presión osmotica.

P_a: presión alimentación.

P_p: presión de permeado.

π_a : Gradientes de presión para alimentación.

π_p : Gradientes de presión para permeado.

π_r : Gradientes de presión para rechazo.

C_a: Concentración de alimentación.

C_r: Concentración de rechazo.

C_p: Concentración de permeado.

P_{bomba}: Presión de la bomba.

P_{NETA}: Presión neta de la membrana.

$\Delta P_{p\ Tub}$: Caída de presión en tuberías del tramo permeado.

$\Delta P_{p\ Acc}$: Caída de presión en los accesorios del tramo permeado.

$\Delta P_{p\ Fil}$: Caída de presión en los filtros del tramo permeado.

$\Delta P_{a\ Tub}$: Caída de presión en tuberías del tramo alimentación.

$\Delta P_{a\ Acc}$: Caída de presión en los accesorios del tramo alimentación.

$\Delta P_{a\ Fil}$: Caída de presión en los filtros del tramo alimentación.

Tabla de contenido

Lista de anexos.....	17
Resumen	18
Introducción.....	19
Capítulo I: Descripción del proyecto.....	20
1 Definición y formulación del problema.....	20
1.1. Formulación del problema.	22
1.2. Justificación.	23
1.3. Objetivos.	26
1.3.1. General.	26
1.3.2. Específicos.	26
Capítulo II: Marco Referencial.....	27
2 Marco Teórico	27
2.1. Antecedentes	27
2.2. Marco legal	30
2.3. Fundamentos	36
2.4. Insuficiencia Renal.....	36
2.4.1. Tratamientos.....	37
2.4.2. Diálisis.....	38
2.4.3. Hemodiálisis.....	38
2.4.3.1. Monitor de Hemodiálisis	40
2.4.3.2. Dializador	40
2.5. Agua purificada para el líquido de diálisis	42
2.6. Consecuencias al paciente por no tratar el agua adecuadamente.....	42
2.6.1. Contaminantes nocivos	44
2.6.1.1. Aluminio.....	44
2.6.1.2. Cloro y cloraminas	44
2.6.1.3. Conductividad.....	45
2.7. Parámetros deseados para el agua usada en diálisis.....	45

2.8.	Tratamiento Del Agua.....	47
2.8.1.	Tratamiento Físico.....	49
2.8.1.1.	Membrana.....	50
2.8.1.2.	Osmosis Inversa.....	52
2.8.2.	Tratamiento Químico	55
2.8.2.1.	Carbón activado.....	55
2.8.2.2.	Resina ionizada.....	56
2.8.3.	Tratamiento Biológico.....	58
2.8.3.1.	Lámpara UV	58
2.9.	Automatización Y Control.....	59
2.9.1.	Control.....	60
2.9.2.	Sistema de control	61
2.9.2.1.	Elementos de un sistema de control	63
2.9.3.	Sistema de control lazo abierto.	65
2.9.4.	Sistema de control lazo cerrado.	66
2.10.	Componentes de un sistema automático	68
2.11.	Características de los instrumentos	69
2.12.	Funciones de los instrumentos de un sistema automático	71
2.12.1.	Transductor o sensor.....	72
2.12.1.1.	Clasificación de los transductores	73
2.12.1.2.	Características de los sensores.....	77
2.12.2.	Actuadores	79
2.12.2.1.	Válvulas de control.....	80
2.12.2.2.	Contactores o relés	80
2.12.3.	Controlador.....	81
2.12.3.1.	Sistemas embebidos.....	82
Capítulo III: Metodología.....		83
3	Metodología para el diseño de la planta de tratamiento de agua portátil.	83
3.1.	Fase 1: Consultas bibliográficas.	84
3.2.	Fase 2: Pre – requisitos de la planta portátil:	85
3.3.	Fase 3: Prototipado	85
3.4.	Fase 4: La materia prima.....	89
3.4.1.	Criterios para la elección del material.....	89

3.4.2.	Tipo de agua a usar.....	89
3.4.3.	Contaminación	90
3.5.	Fase 5: Análisis del agua potable.....	91
3.6.	Fase 6: Etapa de diseño	91
3.6.1.	Consideraciones previas	91
3.6.2.	Elección de componentes	92
3.6.3.	Materiales para el diseño mecánico	92
3.6.4.	Materiales para el diseño electrónico	94
3.6.5.	Sensores.....	94
3.6.5.1.	Temperatura.....	94
3.6.5.2.	Presión:	96
3.6.5.3.	Caudal:.....	98
3.6.5.4.	Conductividad:	101
3.6.6.	Tarjetas de desarrollo:	103
3.6.6.1.	Arduino.....	104
3.6.7.	Human – Machine Interface (HMI):	107
3.6.8.	Fuente de alimentación:	108
3.6.9.	Bombas de agua	109
3.6.9.1.	Criterios para la elección de una bomba.....	113
3.6.10.	Válvulas:	114
3.6.10.1.	Electroválvulas	115
3.7.	Fase 7: Diseño esquemático.....	116
3.8.	Fase 8: Selección de los componentes de la planta.....	116
3.9.	Fase 9: Análisis y diseño mecánico de la planta.....	117
3.10.	Fase 10: Diseño electrónico de la planta.....	118
3.11.	Fase 11: Prototipado 3D.....	118
Capítulo IV: Diseño y resultados		119
4	Diseño y resultados	119
4.1.	Diseño esquemático	119
4.2.	Selección de los componentes para la planta.....	124
4.2.1.	Manguera a usar	124
4.2.2.	Filtros a usar	124
4.2.3.	Portafiltros a usar	125

4.2.4. Niples a usar	126
4.2.5. Accesorios a usar.....	126
4.2.6. Actuadores a usar	128
4.2.7. Membrana Osmosis Inversa a usar.....	129
4.2.8. Portamembrana a usar	130
4.2.9. Sensores a usar	131
4.2.10. Lámpara UV	134
4.3. Análisis y diseño mecánico.....	135
4.3.1. La membrana TW30-3012-500.....	135
4.3.2. Calculo concentración en el permeado.....	140
4.3.3. Cálculos de presiones	143
4.3.3.1. Cálculos presión de alimentación	148
4.3.3.2. Cálculos de presión en el permeado	154
4.3.4. Elección de la bomba	159
4.4. Diseño electrónico	163
4.5. Diseño prototipo 3D.....	170
Conclusiones	176
Recomendaciones	179
Bibliografía	181
Anexos	186

Lista de tablas

Tabla 1	<i>Características físicas del agua potable.</i>	31
Tabla 2	<i>Características químicas del agua potable.</i>	32
Tabla 3	<i>Niveles de cloro en el agua potable.</i>	33
Tabla 4	<i>Características microbiológicas.</i>	34
Tabla 5	<i>Efectos de los contaminantes químicos presentes en el agua a los pacientes.</i>	43
Tabla 6.	<i>Normas de calidad del agua para hemodiálisis.</i>	46
Tabla 7.	<i>Comparativas características del agua entre las normas internacionales y las resoluciones nacionales.</i>	48
Tabla 8.	<i>Presión del agua en relación al tamaño del poro de la membrana.</i>	51
Tabla 9	<i>Resumen de variables a medir dependiendo del tipo de sensor.</i>	77
Tabla 10	<i>Características técnicas de los sensores.</i>	78
Tabla 11	<i>Comparativa entre las bombas rotodinámicas y bombas volumétricas.</i>	110
Tabla 12.	<i>Tipo y cantidad de accesorios a usar.</i>	127
Tabla 13	<i>Caudal producido en relación a la presión en la membrana TW30--3012-500..</i>	138
Tabla 14	<i>Concentraciones de alimentación, permeado y rechazo.</i>	140
Tabla 15	<i>Comparativa valores permeado de la membrana y las normas internacionales..</i>	142
Tabla 16	<i>Resultado presión osmótica de alimentación.</i>	144
Tabla 17	<i>Resultado presión osmótica permeado.</i>	146
Tabla 18	<i>Perdidas en los tramos de la tubería de alimentación.</i>	151
Tabla 19	<i>Perdida de presión para cada accesorio en la alimentación.</i>	152
Tabla 20	<i>Perdidas en los tramos de la tubería del permeado.</i>	156

Tabla 21	<i>Perdida de presión para cada accesorio en el permeado.....</i>	157
Tabla 22.	<i>Cantidad de pines de entrada a usar en Arduino MEGA.</i>	165
Tabla 23.	<i>Cantidad de pines de salida a usar en Arduino MEGA.</i>	166

Lista de ilustraciones

<i>Ilustración 1. Circuito Sanguíneo.....</i>	39
<i>Ilustración 2. Estructura de un dializador de fibra hueca común.</i>	41
<i>Ilustración 3. Esquema de la Separación Mediante la Tecnología de Membranas.....</i>	50
<i>Ilustración 4. Rechazo Material Por Tipo de Membranas.</i>	52
<i>Ilustración 5. Ósmosis - Ósmosis Inversa.....</i>	53
<i>Ilustración 6. Esquema de un sistema.</i>	61
<i>Ilustración 7. Esquema de un sistema con muchas entradas y salidas.....</i>	62
<i>Ilustración 8. Esquema lazo abierto.</i>	65
<i>Ilustración 9. Esquema lazo cerrado.</i>	66
<i>Ilustración 10. Esquema lazo cerrado detallado.</i>	67
<i>Ilustración 11. Esquema de un sistema automatizado.....</i>	71
<i>Ilustración 12. Etapas que componen un transductor genérico y detalle de la conversión de magnitudes en un transductor de presión.</i>	73
<i>Ilustración 13. Resumen de la metodología implementada.....</i>	84
<i>Ilustración 14. Prototipo de planta para tratamiento de agua portátil.....</i>	86
<i>Ilustración 15. Toma de muestra de agua potable municipal directamente del grifo en la ciudad de Montería / Córdoba.....</i>	87
<i>Ilustración 16. Medición de conductividad a agua potable municipal en la ciudad de Montería /Córdoba.</i>	87
<i>Ilustración 17. Toma de muestra agua permeada de la planta portátil.....</i>	88
<i>Ilustración 18. Medición conductividad a muestra de agua permeada.....</i>	88

Ilustración 19. Sensor de caudal.	101
Ilustración 20. Características versiones de Arduino (UNO, Mega 2560, Leonardo, Nano).	105
Ilustración 21. Características versiones de Arduino (Due, Micro y Yún).	105
Ilustración 22. Tarjeta desarrollo Arduino TRE.	106
Ilustración 23. Esquema de una válvula de solenoide.	116
Ilustración 24. Diagrama esquemático de la planta tratamiento de agua portátil.	120
Ilustración 25. Maguera Hydrofit.	124
Ilustración 26. Portafiltros.	126
Ilustración 27. Niple en latón.	126
Ilustración 28. Codo macho – OD conexión rápida.	127
Ilustración 29. Codo ¼” OD conexión rápida.	127
Ilustración 30. Conector rosca NPT macho – OD conexión rápida.	127
Ilustración 31. Tee OD – BSP macho – OD.	128
Ilustración 32. Tee OD – NPT hembra – OD.	128
Ilustración 33. Tee OD conexión rápida.	128
Ilustración 34. Válvula solenoide.	129
Ilustración 35. Membrana OI TW30-3012-500.	130
Ilustración 36. Porta membrana OI.	131
Ilustración 37. Sensor de presión de la marca EARUELETRIC.	132
Ilustración 38. Sensor de temperatura DS18B20 con carcasa de acero inoxidable.	132
Ilustración 39. Sensor de caudal DWS-MH-01.	133
Ilustración 40. Sensor de TDS con módulo XH2.54-3P.	134

Ilustración 41. Lámpara UV dentro de su contenedor en acero inoxidable.	135
Ilustración 42. Características membrana TW30-3012-500.	136
Ilustración 43. Grafica relación Presión - Caudal de la membrana Tw30-3012-500.....	137
Ilustración 44. Grafica de relación caudal – presión membrana TW30-3012-500, con origen en 0.....	138
Ilustración 45. Plano 3D del tramo (entrada agua potable – entrada membrana de OI).	149
Ilustración 46. Esquema detallado del tramo (entrada agua potable – entrada membrana de OI).....	149
Ilustración 47. Plano 3D del tramo (salida membrana IO – salida de la planta).....	154
Ilustración 48. Esquema detallado del tramo (salida membrana IO – salida de la planta).	155
Ilustración 49. Caudales de alimentación para cada bomba en relación a la presión..	159
Ilustración 50. Recuperación de cada bomba en relación a la presión.	160
Ilustración 51. Caudal de permeado para cada bomba con relación a la presión.	161
Ilustración 52. Caudal de rechazo de cada bomba con relación a la presión.	162
Ilustración 53. Eficiencia de las bombas.	162
Ilustración 54. Esquema electrónico propuesto para la planta de tratamiento de agua portátil.....	164
Ilustración 55. Circuito electrónico propuesto para la etapa de potencia, PWM y activación de la lampara UV.....	167
Ilustración 56. Pantalla ER-TFTM050-5-4124(RTP) y su conexión a Arduino.....	169

Ilustración 57. Representación 3D del esquema general de la planta (Vista frontal-lateral).	170
Ilustración 58. Representación 3D del esquema general de la planta (Vista trasera-lateral).	171
Ilustración 59. Estructura de soporte de los componentes de la planta	172
Ilustración 60. Carcasa de la planta de tratamiento de agua portátil.	173
Ilustración 61. Diseño acceso rápido a los filtros de la planta.	174
Ilustración 62. Diseño acceso rápido a parte electrónica de la planta.	175

Lista de anexos

Anexo A. Certificado participación RedCOLSI, Pasto – Colombia 2018.....	186
Anexo B. Invitación ESI 2019 – Abu Dabi – Emiratos árabes.....	187
Anexo C. Copia de los resultados físico – químicos y microbiológicos del agua potable en el municipio de Tierralta/Córdoba realizados en septiembre de 2019.....	188
Anexo D. Ficha técnica membrana TW30-3012-500	190

Resumen

El proyecto, está enfocado en el diseño de una planta portátil automatizada para el tratamiento de agua potable, que permita obtener como resultado agua ultra pura que pueda ser utilizada en la creación del líquido de diálisis; este líquido es usado como material en el proceso de hemodiálisis que es uno de los métodos más comunes para tratar la insuficiencia renal. La hemodiálisis se realiza mediante un monitor que se encarga de suplir la función del riñón. Para que exista un buen funcionamiento de esta máquina y se realice un buen tratamiento en el paciente, se hace necesario que el agua cumpla con las características mínimas establecidas por las normas internacionales ISO 13959 (2014) y UNE 111-301-90 que son los entes que lo regulan. Teniendo en cuenta lo anterior, se propone diseñar una planta de tratamiento portátil haciendo uso del proceso de osmosis inversa y disponiendo de una membrana semipermeable que logre eliminar gran cantidad de contaminantes encontrados en el agua potable permitiendo obtener el agua con las características mínimas establecidas. Una de las ventajas del diseño es que es compacta y portátil y puede permitir llevar el proceso de hemodiálisis a cualquier lugar. Mediante esta investigación se logró identificar los componentes en el agua potable a mitigar, de igual forma se presentan los cálculos teóricos realizados en el diseño de la planta portátil que permiten obtener el agua ultra pura para la creación de LD y por último se esquematiza todo el proceso para el tratado de agua usando componentes de última tecnología y un diseño electrónico con la finalidad de automatizar y controlar la planta.

Palabras clave: Hemodiálisis, Tratamiento de agua, Automatización, Osmosis Inversa, Agua ultra pura.

Introducción

La combinación del voraz crecimiento de la población humana, la deforestación, alteración del medio y el mal uso de los recursos naturales, han sido el detonante hacia el surgimiento de nuevas enfermedades, tal es el caso de la insuficiencia renal, la cual es la incapacidad del riñón para cumplir con sus funciones principales como lo es limpiar la sangre; sin embargo, gracias al avance tecnológico en los últimos años en el ámbito de la medicina y la ingeniería que van tomados de la mano han desarrollar algunas alternativas de soluciones ante esta enfermedad, de entre las soluciones esta la opción se encuentra el trasplante de riñón, el cual es una solución viable aunque se encuentra limitada por dos factores, el primero es el elevado costo que tiene un riñón sano, este factor limita a aquellas personas de bajos estratos que no cuentan con los recursos económicos necesarios para comprar un riñón además, de ser la población más afectada por la enfermedad, la solución más económica a este factor son los donantes, sin embargo aquí es donde toma papel el segundo factor y es la incompatibilidad entre paciente y donante, haciendo casi imposible aplicar un trasplante como primera solución ante la insuficiencia renal.

Otra solución es el procedimiento de diálisis, el cual consiste en la eliminación artificial de las toxinas de la sangre, este proceso requiere gran cantidad de un tipo de agua con un mínimo de contaminantes, el no usarlo repercutiría negativamente tanto en la salud del paciente como en el mismo proceso de diálisis.

Los problemas que puede causar un tipo de agua indeseada son diversos, es por ello que el presente trabajo detallara dichos problemas y se buscara diseñar una planta de tratamiento de agua portátil automatizada con el fin obtener la calidad de agua necesaria para los procesos de diálisis.

Capítulo I: Descripción del proyecto

1 Definición y formulación del problema

“La hemodiálisis es el método más común para tratar la insuficiencia renal avanzada y permanente” (National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases, s.f.), para lograr este método con éxito, se hace necesario disponer de una maquina o monitor de hemodiálisis, y utilizando la materia prima adecuada, se va a optimizar tanto la salud del paciente con insuficiencia renal como la integridad de la máquina debido a que son algo delicadas por su complejo funcionamiento.

Es importante resaltar que cuando nos referimos a materia prima en este proyecto, estamos haciendo alusión al tipo de agua usada para preparar el líquido de diálisis y usado en los monitores de HD, no se puede usar cualquier tipo de agua ya que estas máquinas en su delicado proceso de diálisis requieren de un recurso hídrico permanente con ciertas características las cuales se logran mediante tratamiento basados en la eliminación de desechos indeseados, como residuos y microorganismo; usualmente este recurso hídrico es generado en plantas industriales de gran escala para el tratamiento de agua, es aquí donde estas las plantas juegan un papel fundamental en el proceso de HD, dado que son las responsables de suministrar el agua con determinadas características específicas con el que se prepara el líquido de diálisis (LD) para luego ser usadas en uno de los métodos de diálisis. En algunos centros o institutos donde realizan diálisis con método de HD, cuentan con una planta para el tratado de este tipo de agua.

Cuando se trata de una planta de tratamiento de agua de gran escala instalada en un instituto, se ven implicadas algunas desventajas que podrían causar un problema mayor al relacionarse directamente con la salud del paciente.

- las plantas en estos institutos están diseñadas para suministrar el líquido a todas las máquinas de HD es una notable ventaja económica, sin embargo, el existir un problema grave en la planta que requiera tiempo de solución, dejaría de suministrar el líquido a las máquinas ocasionando una demora en ofrecerle el servicio a los pacientes.
- Al ser plantas de gran tamaño, estas son fijas, por tanto, dificultaría ofrecer servicios a zonas rurales o a centros hospitalarios donde necesiten realizar el proceso de hemodiálisis con urgencia y no cuenten con una planta de tratamiento de agua que suministre el líquido, por lo que suelen usar cualquier tipo de agua como la del grifo.
- Al usar cualquier tipo de líquido no apto para diálisis, estarían ocasionando graves enfermedades a los pacientes y eventualmente estarían afectado el funcionamiento de las máquinas de HD, deteriorándolas y reduciendo su tiempo de vida, muchas veces la falla de las máquinas de HD (averías, des-calibración, desconfiguración, incrustación, etc.) causada por un tipo de agua de mala calidad detienen los procesos de diálisis obstaculizando así ofrecer un óptimo servicio.

Este proyecto busca diseñar una planta de tratamiento de agua portátil automatizada para compensar las falencias antes mencionadas relacionadas al tamaño sin perder calidad en el líquido saliente de la misma, optimizando el uso de los monitores de hemodiálisis y la salud del paciente, se proyecta monitorear y automatizar el proceso de tratado de agua de la planta usando componentes electrónicos en conjunto con procesos de control, el hacerla portátil otorgara la gran ventaja de poder llevar el proceso de diálisis a cualquier parte del planeta.

El alcance de este proyecto se enmarca desde una perspectiva de la ingeniería conceptual, básica y detalle, centrándose en el diseño teórico, selección de los materiales, dimensionamiento, planos de detalles y cálculos matemáticos que permitan una posterior implementación como trabajo futuro.

Por lo anterior formulamos la siguiente pregunta problematizadora

¿Cómo mejorar el funcionamiento de una planta de tratamiento de agua con materiales de bajo costo que optimicen el desempeño de las máquinas de hemodiálisis?

1.1. Formulación del problema.

En Colombia, existen empresas que, si bien suplen las necesidades básicas de agua y que, aunque es tratada, esta aun contiene algunos defectos que varían dependiendo de la ubicación geográfica, tales como sedimentaciones, Ph inestable, alto nivel de cloro según lo permitido, y una conductividad alta. Muy a pesar de los problemas conocidos de suministro de agua, las clínicas en su gran mayoría no cuentan con plantas de tratamiento de agua, solo tienen albercas e hidro-bombas que suministran el líquido a todas las áreas. Esto repercute directamente en el funcionamiento adecuado de los equipos biomédicos.

Precisamente, la realización de las terapias de diálisis a los pacientes que se encuentran internados en las unidades de cuidados intensivos (UCI), intermedios, y hospitalización, se ve afectada con connotaciones altamente significativas, ya que las máquinas de hemodiálisis no operan en las condiciones ideales de trabajo.

En el proceso de investigación que se realizó en algunas instituciones prestadoras de salud de nivel 2 se determinó realizar mediciones de conductividad del agua utilizada, donde, se pudo

observar conductividades de 390 μS , ahora bien, para contextualizar este resultado es necesario saber que las condiciones ideales de trabajo de una máquina de hemodiálisis son generalmente: una conductividad del agua de 0 - 10 μS , sin sedimentos, Ph regulado dentro del rango 6,5 a 7,2, bajos niveles de cloro, presión de 20 – 60 Psi, temperatura no superior a 32°C. en consecuencia, al evidenciar que no se cumple con estos parámetros, se decide diseñar una planta de osmosis inversa portable de fácil manejo que permita realizar el procedimiento de diálisis con total éxito en las clínicas donde esté el paciente, asimismo, teniendo presente que las máquinas de hemodiálisis consumen alrededor de 600ml/min a 1200ml/min de agua, sin olvidar que se debe tener en cuenta la calidad de agua para no afectar la salud de los pacientes en los procesos de HD.

El diseño de la planta portátil de tratamiento de agua está orientado en primera medida al cumplimiento de las especificaciones necesarias para generar el líquido de diálisis y para el correcto funcionamiento de los monitores de HD, asimismo, busca un diseño lo más minimalista posible para que sea de fácil portabilidad en comparación a las grandes plantas de tratamiento, en otras palabras, se pretende funcionamiento ideal a bajo costo de tratamiento de agua, acorde a la limitación de los componentes que la conformen. Logrando diseñar una planta portátil que cumpla con los requisitos deseados relacionados con la calidad y las características del agua,

1.2. Justificación.

Los riñones son órganos vitales en el cuerpo humano, puesto que estos se encargan de la eliminación de toxinas y desechos, eliminar el exceso de líquidos y equilibran la acidez de la sangre, al momento de estos fallar en su funcionamiento se presentan diferentes síntomas y

problemas que generan afecciones en el desarrollo humano normal, causando incluso hasta la muerte.

Según estudio realizados por la Sociedad Internacional de Nefrología, se dice que aproximadamente una de cada diez personas a nivel mundial tiende a poseer una enfermedad renal, de las cuales nueve de ellas no es conocedor de su condición y para el 2017 se calculó que aproximadamente un millón de personas a nivel mundial son víctimas de fallecimiento debido a esta enfermedad, que para varios de los países no es tratada como enfermedad primordial, (El Médico Interactivo, 2017).

Una persona que posea problemas de deficiencia renal solo tendrá dos opciones de ser tratadas con el fin de mitigar la enfermedad y se basan teniendo en cuenta las posibilidades de tratamiento de cada país, uno de estas opciones es el trasplante de riñón, el cual sería el más adecuado para llevar una vida normal en las personas que sufren de este problema; aunque esta opción es poco asequible y es difícil de acceder a ella ya sea por falta de un donante compatible o la dificultad de conseguir los recursos económicos necesarios para asumir los gastos de este tipo de procedimientos, pues se debe tener en cuenta que estos son altamente costosos, tanto por los medicamentos que se consumen, así como también el cuidado post y tiempo de recuperación después de una cirugía de este tipo.

Por otra parte, los pacientes que poseen una deficiencia renal, también tienen la posibilidad de utilizar un tratamiento más económico y accesible para aquellas personas de bajos ingresos económicos y es el tratamiento de hemodiálisis (HD); el cual consiste en eliminar mediante métodos artificiales (aparato) todas aquellas sustancias tóxicas de la sangre y así mismo eliminar el exceso de líquidos del cuerpo.

Para la realización de este tratamiento, se requiere de un líquido de diálisis (LD), este debe ser creado a través de una planta de tratamiento de agua que elimine gran cantidad de agentes y patógenos, si se utiliza el LD por fuera de esos parámetros podría causar diversidad de problemas en los pacientes que se les suministre este tipo de tratamiento; este líquido es fundamental para el correcto funcionamiento de las máquinas de Hemodiálisis, puesto que no se pueden implementar cualquier tipo de líquido, como por ejemplo el agua potable para el consumo humano, según (Pérez-García, Anaya, Chisvert , & Valderrábano, 1995), “no sirve de nada utilizar un dializador con una membrana muy compatible y de alta permeabilidad si tenemos un LD contaminado con gran cantidad de pirógenos”, la calidad del agua determinará el buen funcionamiento de las máquinas.

Teniendo en cuenta lo anterior, se hace necesario diseñar una planta de tratamiento de agua potable que permita crear el LD con las especificaciones mínimas para optimizar el funcionamiento de las máquinas de hemodiálisis, que a su vez se vea reflejada en un correcto tratamiento médico en aquellas personas que padezcan de insuficiencia renal. Por otro lado, se busca que el diseño utilice materiales de bajo costo y que sean de fácil acceso para una posterior implementación como trabajo futuro.

Es importante mencionar que este proyecto se ha presentado en encuentros nacionales e internacionales de semilleros de investigación RedCOLSI (véase anexo A) y ha generado un llamado de atención positivo para los evaluadores donde han demostrado interés debido a que ven este tipo de máquinas como una oportunidad para mitigar las falencias relacionadas con el alcance de procesos de hemodiálisis en el país, además de tildar el proyecto como un avance tecnológico para el sector salud dando oportunidades a los pacientes que se les practique

hemodiálisis, la prueba evidente de este interés está en la obtención de la máxima calificación y posterior invitación a participar en el evento internacional ESI en Abu Dhabi para el año 2019.

(véase anexo B)

1.3. Objetivos.

1.3.1. General.

Diseñar una planta portátil automatizada para el tratamiento y purificación del agua potable con el fin de optimizar el funcionamiento de las máquinas de hemodiálisis.

1.3.2. Específicos.

- Identificar las características físico-químicas del agua utilizada como suministro en una máquina de hemodiálisis con el fin de eliminar los componentes no deseados en su tratamiento.
- Proponer los componentes necesarios para la implementación de una planta portátil automatizada para el tratamiento y purificación del agua potable.
- Realizar los diagramas de procesos e instrumentación correspondiente a la planta de purificación de agua propuesta.

Capítulo II: Marco Referencial

2 Marco Teórico

2.1. Antecedentes

En los últimos años, la insuficiencia renal es una enfermedad que está afectando a la población a nivel mundial, atrayendo el interés de muchos profesionales con el fin de enfrentarla, desarrollando tecnologías o métodos para mitigar los problemas relacionados con la falla renal; teniendo la cantidad de personas afectadas por esta enfermedad y que la mayor parte de la población es de bajos recursos económicos, se hace inevitable implementar soluciones accesibles, una de ellas es la hemodiálisis.

En base a lo anterior, se han realizado publicaciones con todo lo relacionado a la insuficiencia renal, sobre todo haciendo énfasis en la importancia que tiene el agua y su el tratamiento óptimo para crear el líquido de diálisis que es usado en la hemodiálisis, es por tanto que, como soporte investigativo del presente proyecto, se lleva a cabo la búsqueda de información relevante al tema de interés y que sirva de enriquecimiento a dicho proyecto; por lo cual se llega a los siguientes aportes con menos de cinco años de publicación.

(Pérez-García, y otros, 2016) desarrollan una guía donde establecen una serie de recomendaciones sobre normas para preparar el líquido de diálisis: agua, concentrados y sistemas de dosificación de la hemodiálisis. Esta guía se basa en la norma ISO 13959, la Farmacopea Europea, la Real Farmacopea Española, las normas y prácticas recomendadas de la AAMI, la Guía Europea de Buena Práctica en Hemodiálisis, revisiones de la bibliografía, según su nivel de evidencia, y la opinión del grupo español de expertos. además, definen dos niveles de

calidad para el agua, llamados agua purificada y agua ultra pura. Uno de los objetivos de esta guía, es unificar criterios con otras recomendaciones/guías internacionales.

Su metodología estuvo dividida en cuatro etapas, la primera consistió en la constitución del grupo de expertos conformador por nefrólogos, microbiólogos, técnicos en HD, un investigador consagrado en temas de biocompatibilidad en diálisis y un responsable de producto; todos ellos formando un grupo con la finalidad principal de obtener la mayor información posible relacionado con la temática, basándose en la literatura presente en conjunto con la experiencia lograda en la práctica a diario.

La segunda etapa fue una dinámica de reuniones en las que se distribuyeron los aspectos a estudiar entre los distintos expertos pertenecientes al grupo de investigación, la tercera etapa se realizó una búsqueda de información abarcando muchas fuentes, por última etapa se hace un análisis de calidad de la evidencia recolectada.

Este artículo ofrece información importante para la realización del este proyecto, debido a que se puede extraer del mismo las características que debe contener el agua a usar para crear el líquido de diálisis, bajo las exigencias de las normas pertinentes, también ofrece información relacionada al diseño de un sistema de tratamiento de agua, sin embargo la información suministrada es breve en cuanto a la implementación y su diseño es orientado a un sistema de gran tamaño, en contraposición de este proyecto que está orientado al diseño de una máquina de menor tamaño, es decir, que en lo posible sea portátil.

Considerando el hecho de lo importante que es la calidad del agua para desarrollar el líquido de diálisis; (Bocos González, 2015) realizó un proyecto llamado “DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE AGUA PARA HEMODIALISIS” el cual desarrolla una instalación que cumpla todas las especificaciones del servicio de Nefrología del Hospital Río Hortega (HURH)

de Valladolid, en su proyecto el autor intenta definir como debería ser y que elementos deberían conformar parte de la planta de producción de agua con una excelente calidad, asegurando una continuidad en la producción y posterior utilización en la preparación de líquido de diálisis, todo ello de acuerdo al estado actual de la técnica, de la normativa vigente y las recomendaciones actuales del colectivo nefrológico español.

Conjuntamente, el autor busca que con el procedimiento implementado se consigan unas mejores predicciones del comportamiento de un determinado parámetro y por tanto una mayor optimización de los equipos, frente al uso de un modelo matemático general.

Al igual que el primer artículo, este proyecto presenta el diseño de una planta a gran escala, sin embargo, se suministran más detalles acerca de los procesos para el tratar cada característica del agua, permitiéndonos determinar que método es el más eficaz ante los parámetros que se deseen mitigar en el agua teniendo en cuenta que no se van a usar todos los procedimientos descritos en el proyecto de Luis Bocos, ya que nuestro proyecto está destinado a tratar un tipo de agua potable, esto hace que no sea tan necesario realizar ciertos procedimientos.

(Rivas Nieto, 2019), en su proyecto aplicado llamado “Diseño De Una Máquina De Ósmosis Inversa Para Producir Agua Ultra Pura En El Laboratorio De Manufactura De La Pucp” concluye que logro cumplir con el objetivo principal del proyecto el cual fue diseñar una máquina de purificación de agua a partir de agua potable, con un alto ahorro energético y poco desperdicio de agua potable. El proyecto de Rivas (2019) suministra información importante, veraz y útil que refuerza la bibliografía consultada para el desarrollo de este proyecto, tal información puede ser usada para los cálculos dimensionamiento puesto que una diferencia entre los proyectos es la cantidad de líquido ultra puro producido y la posibilidad variar el caudal producido según se requiera, así mismo el proyecto de Rivas (2019) carece de un sistema de control que suministre alarmas o información digital de lo que esté sucediendo en la planta en tiempo real, soporte de ello, su recomendación de hacer un monitoreo

visual de los instrumentos de usados en la máquina, tarea que puede ser realizada mediante los sensores y la programación a usar en nuestro proyecto ya que se busca una automatización y control, partiendo desde el primer funcionamiento de la máquina.

2.2. Marco legal

Es importante considerar las legislaciones que regulan los servicios ofrecidos en el área de la salud considerando las normas internacionales y nacionales que están relacionadas directamente con este proyecto.

Teniendo en cuenta que para realizar el líquido de diálisis con el que se realizan las hemodiálisis debe tener como ingrediente principal un agua con ciertas características establecidas que, si bien en Colombia no existe aún una normal como tal que las definan, si existen normas extranjeras y se harán uso de ellas.

Legislación internacional:

Las normas internacionales usadas en este proyecto son las UNE 111-301-90 y la norma Internacional ISO 13959 (2014) las cuales especifican los requisitos mínimos para el uso del agua en hemodiálisis y terapias relacionadas. además, incluye las características que debe contener el agua para la preparación de concentrados, líquidos de diálisis para hemodiálisis, hemodiafiltración y hemofiltración, y para la reprocesamiento de hemodializadores.

Legislación nacional:

Para garantizar el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento de agua portátil y que el líquido permeado corresponda a las características deseadas por las normas anteriores, el agua entrante a esta planta estará bajo las características de las resoluciones nacionales establecidas a

continuación, es de resaltar que para los análisis posteriores se usaran los valores máximos permisibles acerca de las características del agua para cada resolución, la unión de ambas ofrece más información para este proyecto.

El 20 de septiembre de 1991 el Ministerio de salud colombiana establece la resolución 12186 por la cual se fijan las condiciones para los procesos de obtención, envasado y comercialización de agua potable tratada con destino al consumo humano, de esta resolución podemos resaltar el artículo 4, el cual suministra la información sobre las condiciones físicas, químicas y microbiológicas que deberá contener el agua para considerarse potable.

Por otra parte, el 22 de junio del 2007, el Ministerio de la protección social, de ambiente, de vivienda y desarrollo, presenta la resolución número 2115 en la cual en 7 capítulos se establecen las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Al igual que la resolución anterior, se van a tomar aquellos datos que suministren información acerca de las características que debe tener el agua potable y sean necesarias para el análisis en capítulos posteriores del presente trabajo, para lo cual se hace un enfoque en el capítulo 2 que data de las propiedades físicas y químicas que debe tener el agua, el capítulo 3 otorgando información de las características microbiológicas ideales del agua

Tabla 1
Características físicas del agua potable.

Características	Expresadas en	Valor máximo	Valor máximo
		(12186)	(2115)
Color	Unidades Platino Cobalto UPC	15	15
Olor y sabor		Inobjetable	aceptable

Turbiedad	Unidades Nefelométricas	2	2
Conductividad	μs/cm		1000
Solidos totales	Mg/L	200	
pH		6.5-9.0	6.5-9.0

Nota. Recuperado y adaptado de “Resolución 12186”. Ministro de salud. Santa fe de Bogotá; 1991 & “Resolución 2115”. Ministro de la Protección Social. Santa fe de Bogotá; 2007

Tabla 2

Características químicas del agua potable.

Elemento y/o compuesto químico	Símbolo	Valor máximo permitido mg/l (12186)	Valor máximo permitido mg/l (2115)
Antimonio	Sb	-	0.02
Aluminio	Al	0.2	0.2
Arsénico	As	0.05	0.01
Bario	Ba	1	0.7
Boro	B	1	-
Cadmio	Cd	0.005	0.003
Calcio	Ca	-	60
Cianuros	CN	0.1	0.05
Cobre	Cu	1	1
Cromo	Cr + 6	0.05	0.05
Fenoles	Fenol	0.001	-
Fluoruros	F	-	1
Mercurio	Hg	0.001	0.001

Níquel	Ni	-	0.02
Nitritos	NO2	0.1	0.1
Nitratos	NO3	15	10
Plata	Ag	0.05	-
Plomo	Pb	0.01	0.01
Selenio	Se	0.01	0.01
Trihalometanos Totales	THMs	-	0.2
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP	-	0.01
Cloruros	Cl – 3	250	250
Dureza total	CaCO3	150	300
Hierro total	Fe	0.3	0.3
Magnesio	Mg	36	36
Manganeso	Mn	0.1	0.1
Sulfatos	SO4	250	250
Sodio	Na	200	-
Zinc	Zn	5	3

Nota. Recuperado y adaptado de “Resolución 12186”. Ministro de salud. Santa fe de Bogotá; 1991 & “Resolución 2115”. Ministro de la Protección Social. Santa fe de Bogotá; 2007

Tabla 3

Niveles de cloro en el agua potable.

	Mínimo	Máximo
Cloro residual libre (12186)	0.5 mg/l	1.0 mg/l

Cloro total (12186)	0.6 mg/l	1.2 mg/l
Cloro residual libre (2115)	0.3 mg/l	2.0 mg/l

Nota. Recuperado y adaptado de “Resolución 12186”. Ministro de salud. Santa fe de Bogotá; 1991 & “Resolución 2115”. Ministro de la Protección Social. Santa fe de Bogotá; 2007

Tabla 4

Características microbiológicas.

Técnicas utilizadas	Coliformes Totales	Escherichia coli
Filtración por membrana	0 UGC/100 cm ³	0 UFC/100 cm ³
Enzima Sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm ³	< de 1 microorganismo en 100 cm ³
Sustrato definido	0 microorganismo en 100 cm ³	0 microorganismo en 100 cm ³
Presencia – Ausencia	Ausencia en 100 cm ³	Ausencia en 100 cm ³

Nota. Recuperado y adaptado de “Resolución 2115”. Ministro de la Protección Social. Santa fe de Bogotá; 2007.

Se describen las legislaciones que regulan los servicios ofrecidos en el área de la salud, en esta se detalla las pautas y normas que deben cumplir cada una de las instituciones prestadoras del mismo.

Teniendo en cuenta que algunas se aplican a nuestro proyecto y que estas son establecidas por el ministerio de salud y protección social se tiene que según la legislación 2003 de 2014 establece lo siguiente:

MANUAL DE INSCRIPCIÓN DE PRESTADORES Y HABILITACIÓN DE SERVICIOS
DE SALUD

Estándar para las diálisis. En los pacientes sometidos a tratamiento de hemodiálisis extramural, deberá garantizarse que el agua con la cual se realiza la terapia, reciba un tratamiento previo adecuado y de ninguna manera se debe realizar la terapia con fuentes de agua cuya característica sea únicamente potable. Pg. 87 – 88

Estándar para los servicios de agua. En edificaciones donde se presten servicios quirúrgicos, obstétricos, de laboratorio clínico de mediana y alta complejidad, urgencias, transfusión sanguínea, diálisis renal, hospitalarios, unidades de cuidado intermedio e intensivo, de apoyo de imágenes diagnósticas, vacunación, servicio farmacéutico, aquellos que requieran cadena de frío y las áreas de depósito y almacén de la institución; éstos cuentan con: fuente de energía de emergencia y tanques de almacenamiento de agua para consumo humano. Pg. 25

Por otra parte, también encontramos que en la RESOLUCION 4445 DE 1996 se aplican los siguientes artículos:

ARTICULO 7. DOTACION DE SERVICIOS PUBLICOS. Para la construcción de las instituciones prestadoras de servicios de salud se deberán garantizar los servicios de suministro de agua, energía eléctrica, sistemas de comunicación, como también de manejo y evacuación de residuos sólidos y de residuos líquidos.

ARTICULO 10. INSTALACIONES PARA SUMINISTRO DE AGUA. Las instalaciones interiores para suministro de agua serán diseñadas y construidas de tal manera que haya normal funcionamiento con dotación de servicio continuo y presión de servicio en todos los sitios de consumo. Los materiales utilizados deberán cumplir con las normas establecidas por el Instituto Colombiano de Normas técnicas ICONTEC, referentes a su uso, instalación y mantenimiento.

2.3. Fundamentos

2.4. Insuficiencia Renal

También conocida como falla renal, es una enfermedad la cual consiste en el mal funcionamiento de los riñones, cuando esta falla, se inicia una acumulación de desechos peligrosos para nuestro cuerpo, se eleva la presión arterial, el cuerpo retiene más líquidos de lo normal y no se producen glóbulos rojos. La insuficiencia renal puede ser aguda (IRA) o crónica (IRC), en ambos casos debe ser tratada ya que a largo plazo podría conllevar a la muerte del paciente.

Si bien el sistema renal en nuestro cuerpo está conformado por dos riñones del tamaño aproximado de nuestros puños, los uréteres, la vejiga urinaria y la uretra los cuales tienen como finalidad eliminar las toxinas del cuerpo, que son desechadas mediante la orina, es decir, es un filtro biológico.

Los riñones son los encargados de limpiar la sangre, esto se realiza mediante unos filtros minúsculos denominados glomérulos (cada riñón con aproximadamente 1.200.000 glomérulos) eliminando excesos de líquidos, minerales, residuos o sustancias tóxicas para nuestro organismo tales como Urea, creatinina, ácido úrico, calcio, fósforo, medicamentos, etc. La sangre llega a los riñones mediante la arteria renal y sale por la vena renal. Además de realizar una limpieza a nuestro cuerpo, los riñones pueden producir hormonas que mantienen la sangre sana y nuestros huesos fuertes. (Servicio Riojano de Salud, s.f.).

Son muchos los factores que se relacionan con la falla renal, en la gran mayoría son causados por problemas de salud que poco a poco han afectado a los riñones como una enfermedad cardíaca, una infección, insuficiencia hepática, entre otros, también pueden ser causados por una

lesión directa a los riñones o simplemente ingiriendo sustancias químicas tóxicas presentes en algunos alimentos, como por ejemplo, el mercurio presente en el pescado sobre todo en las zonas donde se realiza la minería ilegal ya que es un material usado para la extracción del preciado metal.

2.4.1. Tratamientos.

Al igual que otros problemas de salud, el ser humano mediante la ciencia ha buscado la forma de mitigar o erradicar las enfermedades basándose en técnicas medicinales producto de una previa investigación y años de pruebas logrando hasta el punto de eliminar enfermedades mortales para el ser humano. Este gran paso a la humanidad se ve reflejado en los tratamientos antes la insuficiencia renal.

Entre los tratamientos se cuenta con alternativas como el trasplante de riñón o las diálisis que son un tratamiento práctico, esta última es el método más usado para tratar insuficiencias parciales o completas. Ambos tratamientos con ventajas y desventajas, como por ejemplo un trasplante de riñón es un tratamiento costoso y de alto riesgo si el paciente no es capaz de aceptar el órgano donante. El tratamiento de diálisis reemplaza las funciones que realizan los riñones, cabe mencionar que independiente de cuál sea el tratamiento que tome el paciente, este se verá obligado a hacer cambios a su estilo de vida, cambiando la alimentación y no optando por una vida sedentaria. Esto no quiere decir que la persona se vea sometida a una vida llena de limitaciones, ya que la gran mayoría puede llevar una vida plena y activa.

2.4.2. Diálisis

Las diálisis es un tratamiento o método usado en la medicina para suplir las funciones de un riñón limpiando la sangre de forma artificial eliminando todas las toxinas del cuerpo y el exceso de agua en la sangre.

Gracias a los avances tecnológicos, el método de diálisis se ha convertido en una alternativa segura como tratamiento ante la insuficiencia renal además es el método más económico. Para el uso de este método se es necesario contar con un ingrediente principal y necesario, es un líquido de alta pureza para evitar contaminar al paciente con agentes externos, este líquido no es más que agua de muy buena calidad conocida como agua ultra pura.

Actualmente se conocen dos técnicas para las diálisis basadas en el mismo principio de filtrar la sangre del paciente con la finalidad de eliminar toda clase de residuos tóxicos para el cuerpo y el exceso de agua, estas técnicas son conocidas como la hemodiálisis y la diálisis peritoneal.

2.4.3. Hemodiálisis

Acerca del concepto de hemodiálisis, Francisco Tapia en su libro Tcae en hemodiálisis declara lo siguiente.

...Es un procedimiento mediante el cual la sangre se conduce entubada desde el organismo hasta una maquina "riñón artificial", en la que después de atravesar un filtro de limpieza (membrana artificial o dializador), que permite recoger las sustancias tóxicas de la sangre y aportar otras beneficiosas, es reenviada de nuevo al cuerpo. (Tapia, 2011, p.116).

Aunque el proceso de HD supla las funciones del riñón, no puede ejecutarse de forma continua, los pacientes que son sometidos a este proceso deben realizárselo al menos 3 veces por semana en días alternos, con sesiones que tienen una duración de 4 a 5 horas, tiempo necesario en que se extraen los componentes tóxicos acumulados desde la última sesión de HD. En todo proceso de HD intervienen dos líquidos: la sangre del paciente y el líquido de diálisis (LD), es aquí donde se toma importancia la calidad del agua con el que se fabrica el LD, ya que estará en contacto directo con la sangre del paciente y para evitarle complicaciones, el agua debe estar exenta de cualquier tipo de contaminación.

En la siguiente figura se esquematizan los componentes necesarios para la realización de hemodiálisis.

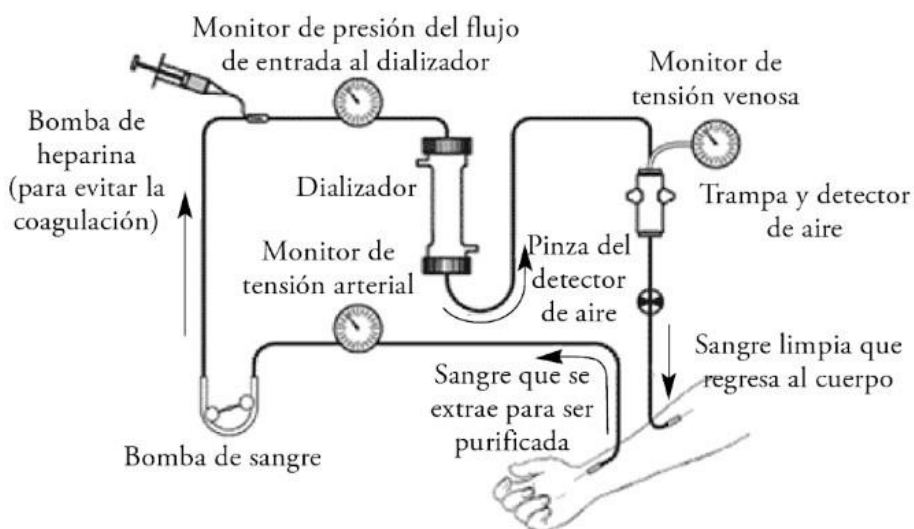


Ilustración 1. Circuito Sanguíneo.

Fuente: Tomada de "Circuito sanguíneo." En "Tcae en hemodiálisis", por Tapias (2011, p.75).

El proceso de hemodiálisis no solo permite la eliminación de desechos tóxicos del cuerpo, sino que también ayuda en la eliminación de líquidos innecesarios favoreciendo la presión

arterial y equilibrando algunas sustancias químicas presentes en el cuerpo como el potasio y el sodio. El proceso de hemodiálisis es realizado gracias a una maquina especial conocida como monitor de hemodiálisis.

2.4.3.1. *Monitor de Hemodiálisis*

El monitor de hemodiálisis está conformado por dos circuitos, uno extracorpóreo sanguíneo y un circuito hidráulico que se interconectan a través de la membrana del dializador, lugar donde la sangre del paciente y el líquido dializador entran en contacto. El monitor de hemodiálisis tiene un sistema de control que gracias a los medidores y actuadores que integra, permiten realizar un excelente proceso de hemodiálisis otorgando seguridad y fiabilidad. La sangre al entrar en contacto con el sistema extracorpóreo activa la coagulación, para evitar esto se usa la heparina.

El monitor de hemodiálisis realiza las siguientes funciones que se consideran principales

- Bombear la sangre del paciente al dializador y viceversa, controlando el flujo para seguridad.
- Construir el líquido de diálisis.
- Filtrar los desechos existentes en la sangre.
- Medir y controlar los flujos, presiones de la sangre y del líquido de diálisis.

2.4.3.2. *Dializador*

Como se mencionó anteriormente, aquí es donde entran en contacto la sangre del paciente con el LD, siendo el elemento fundamental para la HD, el dializador más usado en la actualidad es

conocido como una fibra hueca que está conformado por miles de hilos en forma de tubos con un diámetro de 200 a 300 micras, que en interior fluye la sangre (González Álvarez & Mallafré Andruig, 2010). La solución del LD, que es bombeada al dializador desde el extremo opuesto por donde ingresa la sangre, rodea estas fibras de tal forma que se genera una diferencia de concentración de solutos entre ambos permitiendo que los todos los desechos y líquidos innecesarios migren de la sangre a la solución.

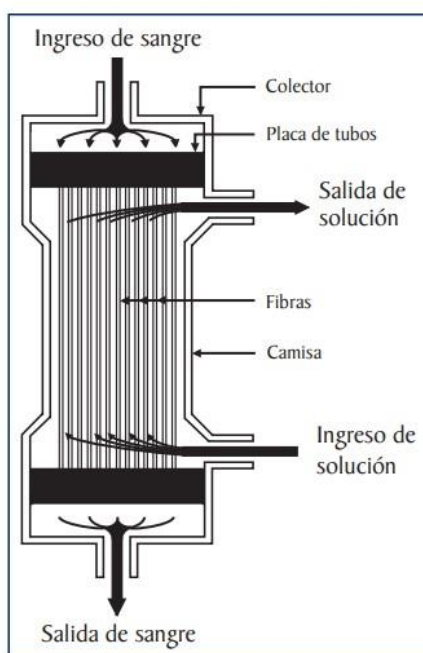


Ilustración 2. Estructura de un dializador de fibra hueca común.

Fuente: Tomado de "Estructura de un dializador de fibra hueca común." De (National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases, s.f.). Recuperado de: <https://www.niddk.nih.gov/health-information/informacion-de-la-salud/enfermedades-rinones/metodos-tratamiento-insuficiencia-renal-hemodialisis>

2.5. Agua purificada para el líquido de diálisis

El LD que es empleado en los tratamientos de diálisis peritoneal y HD está conformado en su gran mayoría de agua, al ser esta su ingrediente principal se debe tener una delicada atención a la calidad de la misma. La importancia que toma esta calidad es que si bien a través de los años se ha visto como las características físico - químicas y microbiológicas del agua que no es debidamente tratada para preparar LD afectan de forma nociva el organismo de las personas que son sometidas a HD, es por ello que la calidad del agua usada para el LD debe estar sometida a normas o estándares de calidad que buscan garantizar la salud del paciente. Para llegar a obtener un agua de alta pureza se deben someter a tratamientos que eliminen de ella cualquier tipo de contaminación.

2.6. Consecuencias al paciente por no tratar el agua adecuadamente

Como el agua es un ingrediente principal para elaborar el LD, se requiere que esta esté libre de cualquier contaminante que pueda exponer al paciente ante sustancias tóxicas que le generen complicaciones de nivel agudo o crónico.

Por lo general, el agua usada para producir el LD, proviene del suministro municipal de agua potable, pues se piensa que al poder ser consumible, está libre de cualquier contaminante, sin embargo, esto es un error, debido a que el uso del agua potable para preparar LD a largo plazo causa problemas de salud a los pacientes y se deben a muchos factores como los materiales usados para la construcción de la planta potabilizadora, los materiales usados en sus sistema de distribución municipal o los componentes agregados en su proceso de potabilización como la cloramina (usada como desinfectante) que pueden provocar anemia o el sulfato de aluminio (usado para clarificar el agua) que contiene aluminio causante de consecuencias clínicas como

osteomalacia. Estos factores agregan contaminantes químicos y microbiológicos al agua que deben ser tratados antes de ser usada para elaborar el LD. (TONG, WANG, KWAN, CHAN, & AU, 2001)

Tabla 5

Efectos de los contaminantes químicos presentes en el agua a los pacientes.

Signos y síntomas	Posible contaminante del agua
Anemia	Aluminio, cloraminas, cobre, zinc, formaldehído, nitratos
Enfermedad ósea	Aluminio, Fluoruro
Hipertensión	Calcio, Sodio
Hipotensión	Bacterias, endotoxinas, nitratos
Acidosis metabólica	pH bajo, sulfatos
Debilidad muscular	Calcio, magnesio
Náuseas y vómitos	Bacterias, Calcio, Cobre, Endotoxinas, Bajo pH, Magnesio, Nitratos, Sulfatos, Zinc
Deterioro neurológico y encefalopatía.	Aluminio
Hemólisis	Cloraminas, Cobre, Nitratos, Formaldehído

Nota. Fuente: Tong, Wang, Kwan, Chan, & Au, (2001) de *Water treatment for hemodialysis*

2.6.1. Contaminantes nocivos

A continuación, se detalla un poco sobre aquellas sustancias nocivas para el paciente que están presente en el agua bien sea agregados en los procesos de tratamiento o de forma natural.

2.6.1.1. *Aluminio*

En el artículo tratamiento del agua y líquido de diálisis de la revista nefrología al día, (Pérez García & Rodríguez Benítez, 2016) declaran que “El aluminio en el agua se presenta como ion (asociado a sales) y en forma coloidal (unido a materia orgánica). Dependiendo del pH, la forma iónica puede variar entre un catión trivalente a un anión complejo.”

Generalmente este elemento se encuentra en el agua porque es usado en los tratamientos de potabilización buscando coagular los coloides presentes en el agua con el fin de eliminar la materia orgánica solida pasando por procesos como filtración o sedimentación. La eliminación del aluminio debe ser necesaria, ya que puede causar intoxicaciones en los pacientes, (Torregrosa, Pérez, & Giménez, 1998) declaran que “La intoxicación aguda produce una encefalopatía metabólica severa, mientras que la crónica se asocia a osteomalacia, anemia y una encefalopatía crónica conocida como demencia dialítica.”, el método eficaz para eliminar el aluminio es a través de la osmosis inversa, ya que los descalcificadores solo eliminan sus formas catiónicas.

2.6.1.2. *Cloro y cloraminas*

En las plantas para tratamiento de agua potable, se usa el cloro como un potente bactericida gracias a su alta capacidad oxidante, este elemento al combinarlo con el amonio se crea la cloramina que sirve para reducir el sabor y olor a cloro (Torregrosa, Pérez, & Giménez, 1998),

las cantidades a usar de cloramina dependerá del grado de contaminación existente en el agua a potabilizar.

Las cloraminas tienen un efecto en los pacientes desnaturalizando la hemoglobina por acción de la oxidación directa del cloro, produciendo hemolisis aguda y crónica (Torregrosa, Pérez, & Giménez, 1998), para contrarrestar este problema, se es indispensable eliminar las cloraminas del agua y esto se logra mediante métodos como el uso de carbón activado, carbón activado catalítico, reductores como el bisulfato de sodio o el ácido ascórbico y la radiación por ultravioleta. El método más idóneo para la eliminación del cloro, es usando filtros de carbón activado, esto se debe a que tienen una reacción física (eliminación por adsorción) y una química (catalizador) ante el cloro.

2.6.1.3. Conductividad

La densidad de los contaminantes químicos como los antes mencionados, provocan que el agua genere una conductividad eléctrica, la cual nos puede servir para indicar la calidad del agua. Según (Pérez-García, y otros, 2016) el agua purificada usada en procesos de hemodiálisis debe tener una conductividad máxima de $4,3 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 20°C o $5,1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 25°C , sin embargo se puede tolerar una conductividad máxima de $10 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 25°C

2.7. Parámetros deseados para el agua usada en diálisis

Ante la presencia de contaminantes químicos en el agua, se establecieron normas como la ISO-13959:2014 o la UNE 111 301-90 la cuales determinan las condiciones específicas para los niveles máximos recomendados de contaminantes en el agua a ser usada en hemodiálisis, se puede apreciar esta información en la siguiente tabla.

Tabla 6.*Normas de calidad del agua para hemodiálisis.**No debe contener una concentración de contaminante mayor a los siguientes (en mg/l)*

		UNE 111 301-90	ISO-13959:2014
Elementos agregados al LD	Calcio	2	2 (0,05 mmol/l)
	Magnesio	4	4 (0,15 mmol/l)
	Potasio	8	8 (0,2 mmol/l)
	Sodio	70	70 (3,0 mmol/l)
	Aluminio	0,01	0,01
Elementos identificados como tóxicos para HD	Cloro total	-	0,1
	Cloro libre	0,5	-
	Cloraminas	0,1	-
	Cobre	0,1	0,1
	Flúor	0,2	0,2
	Plomo	0,005	0,005
	Nitrato	2	2
	Sulfatos	100	100
	Zinc	0,1	0,1
	Antimonio	-	0,006
Nivel máximo de otras sustancias tóxicas reguladas para el agua potable	Arsénico	0,005	0,005
	Bario	0,1	0,1
	Berilio	0,0004	-
	Cadmio	0,001	0,001

Cromo	0,014	0,014
Mercurio	0,0002	0,0002
Selenio	0,09	0,09
Plata	0,005	0,005
Talio	-	0,002

Nota. Fuente: Pérez-García, R., García Maset, R., Gonzalez Parra, E., Solozábal Campos, C., Ramírez Chamond, R., Martín-Rabadán, P., . . . Ferllen, R. (1 de 5 de 2016). Guía de gestión de calidad del líquido de diálisis (LD) (segunda edición, 2015). Nefrología, 36, e1-e52. doi:10.1016/j.nefro.2016.01.003

2.8. Tratamiento Del Agua

El tratamiento de agua se hace indispensable a razón de que el preciado líquido en su estado natural experimenta un cambio en sus propiedades debido a la intervención agresiva del medio ambiente, agregando al líquido una gran variedad de contaminantes o características no deseadas que pueden ser tóxicos para nuestro organismo, por lo que se realizan procedimientos depurativos para mejorar la calidad física, química y microbiológica del agua con el fin de darle un uso en particular. El proceso o método de tratamiento dependerá en función del uso que se le dará al agua y también de la fuente hídrica.

En particular, se desea llegar a un líquido con las características necesarias para producir el LD para así optimizar el funcionamiento de las máquinas de hemodiálisis. Para cumplir con este propósito, el agua debe someterse a varios procedimientos depurativos que serán clasificados según la función de la forma a purificar en el proceso como, físico, químico y microbiológico. Es de tener en cuenta que se van a tratar solo los temas de interés ya que se conoce las características del tipo de agua de entrada a la planta de tratamiento de agua portátil y son las establecida por la resolución 12186 de 1991 (agua potable tratada con destino al consumo humano en Colombia) y la resolución 2115 de 2007, con esto, se evita el uso de métodos

repetitivos y nos centramos en los que se crean convenientes para cumplir el objetivo principal del proyecto. En la siguiente tabla se plasma una comparativa entre las normas internacionales y las resoluciones colombianas relacionadas con los niveles máximos recomendados de contaminantes químicos en el agua.

Tabla 7.

Comparativas características del agua entre las normas internacionales y las resoluciones nacionales.

(lo que se tiene y lo que se desea obtener).

	Resolución	Resolución 2115 de	UNE 111 301-	ISO-
	12186 de 1991	2007	90	13959:2014
Calcio	-	-	2	2 (0,05 mmol/l)
Magnesio	36	-	4	4 (0,15 mmol/l)
Potasio	-	-	8	8 (0,2 mmol/l)
Sodio	200	-	70	70 (3,0 mmol/l)
Aluminio	0,2	-	0,01	0,01
Cloro total	1,2	-	-	0,1
Cloro libre	1	-	0,5	-
Cloraminas	-	-	0,1	-
Cobre	1	1	0,1	0,1
Flúor	-	-	0,2	0,2
Plomo	0,01	0,01	0,005	0,005
Nitrato	15	-	2	2
Sulfatos	250	-	100	100
Zinc	5	-	0,1	0,1

Antimonio	-	0,2	-	0,006
Arsénico	0,05	0,01	0,005	0,005
Bario	1,0	0,7	0,1	0,1
Berilio	-	-	0,0004	-
Cadmio	0,005	0,003	0,001	0,001
Cromo	0,05	0,05	0,014	0,014
Mercurio	0,001	0,001	0,0002	0,0002
Selenio	0,01	0,01	0,09	0,09
Plata	0,05	-	0,005	0,005
Talio	-	-	-	0,002

2.8.1. Tratamiento Físico

Dentro del tratamiento físico, se encuentra todo tipo de método que tiene como objetivo el modificar la presentación del agua y no su composición, esto es gracias a procedimientos mecánicos forzados los cuales eliminan las partículas sólidas suspendidas existentes en el agua. Los métodos usados dependerán de las propiedades físicas de los contaminantes presentes en el agua. Según (Raffino, 2019), un tratamiento físico muy común es el filtrado que consiste en separar sólidos existentes en un ambiente bien sea líquido o gaseoso usando un medio filtrante, dicho medio, puede ser un objeto mecánico poroso; para el caso de una solución líquida, el medio poroso solo va a detener las partículas mayores al tamaño de sus poros y permitirá el paso del líquido con las partículas de menor tamaño al de sus poros. En este tratamiento, se ven necesario aplicar una fuerza impulsadora (presión, gravedad, vacío, fuerza centrífuga) para que

el líquido atraviese el medio filtrante. Uno de los filtros para eliminar partículas son las membranas.

2.8.1.1. *Membrana*

“La tecnología de membrana se ha convertido en una parte importante de la tecnología de la separación en los últimos decenios.” (Lenntech, s.f), se debe a que la membrana funciona como un elemento separador selectivo del que solo algunas sustancias pueden atravesarla, similar a un tamiz; a estas sustancias se les conoce como “permeado” o “filtrado”, y a las sustancias incapaces de atravesar la membrana son llamadas “concentrado” o “retenido” (Hernández, 1990). En la siguiente figura se muestra como es el proceso de filtración por membrana, donde se ven implícitos una alimentación, el permeado y el retenido.

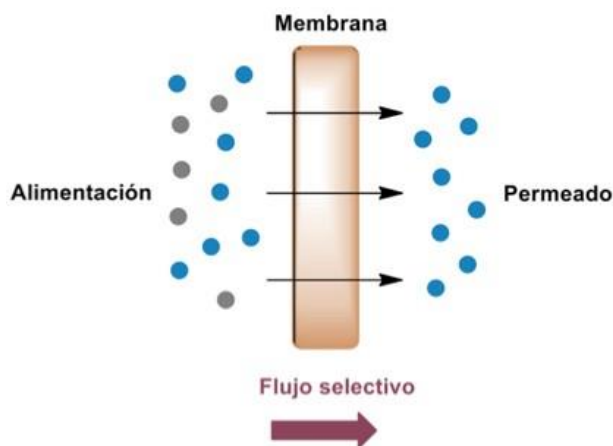


Ilustración 3. Esquema de la Separación Mediante la Tecnología de Membranas.

Fuente: Tomado de “Esquema de la separación mediante la tecnología de membranas” por IMDEA. Recuperado de: <https://www.agua.imdea.org/infraestructuras-cientificas/plantas-piloto/tecnologia-membranas>

Cuando trabajamos sobre un líquido como es en nuestro caso, se debe tener en cuenta que tipo de separación por membrana nos es la más conveniente usar, debido a que existen cuatro,

clasificados según el tamaño de la partícula o molécula que son capaces de retener, microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y osmosis inversa, (Ibáñez, 2007, p. 13) todas estas tienen en común que necesitan una presión como fuerza impulsadora. En la siguiente tabla se puede apreciar la presión requerida de la membrana para cumplir su función en relación al tamaño del poro.

Tabla 8.

Presión del agua en relación al tamaño del poro de la membrana.

Método	Microfiltración	Ultrafiltración	Nanofiltración	Osmosis inversa
Tamaño de los poros	0,05 um – 10 um	0,001um – 0,1um	0,005 y 0,0005 um	<0,0005 um
Presión requerida (bares)	0,5 - 3	1 - 10	3 - 20	10 - 50
Usos	Pretratamiento para la nanofiltración o la osmosis inversa	Purificación en la industria láctea	Eliminación de moléculas como proteínas, enzimas, antibióticos.	Producción de agua ultra pura,

La siguiente imagen nos ofrece una idea de los materiales descartados por cada tipo de membrana cuando queremos tratar el agua

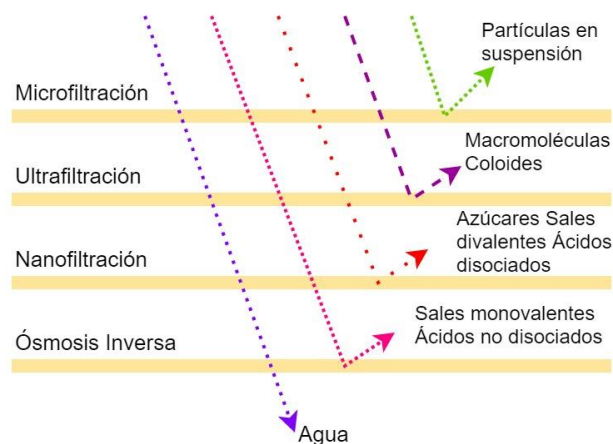


Ilustración 4. Rechazo Material Por Tipo de Membranas.

Fuente: Basada en ilustración (Ibáñez, 2007, p. 14)

2.8.1.2. *Osmosis Inversa*

La osmosis inversa es fácil de entender siempre y cuando se conozca el principio de Osmosis, se define como.

El transporte espontaneo de un disolvente desde una disolución diluida a una disolución concentrada a través de una membrana semipermeable, que impide el paso del soluto, pero deja pasar el disolvente, para intentar igualar las concentraciones a ambos lados de la membrana. (Weber, 1979, p. 322)

En la osmosis se ven implícitas las fuerzas naturales, por lo que después de un tiempo se podrá apreciar un aumento de volumen en el lado de la solución con mayores solutos y una disminución en la solución de menor concentración de solutos, esta diferencia entre ambos es conocida como presión osmótica.

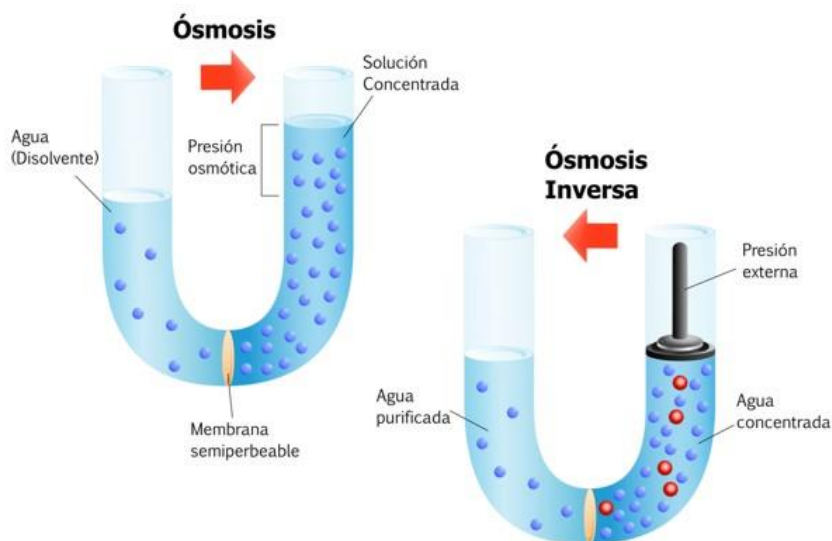


Ilustración 5. Ósmosis - Ósmosis Inversa.

Fuente: Recuperado de: <https://www.carbotecnia.info/wp-content/uploads/2014/09/osmosis-inversa-u.jpg>

Para obtener el efecto inverso (osmosis inversa), se debe ejercer una presión igual o superior a la presión osmótica por el lado de la solución con mayor concentración de sólidos, la solución en este caso va a fluir hacia el lado de la membrana donde tenga menor concentración de solutos.

Para el caso del agua, el proceso de osmosis inversa sirve para la separación de materia orgánica o inorgánica presentes en el líquido, se logra gracias a una membrana semipermeable con un coeficiente mayor de presión para atravesarla que la presión osmótica del agua. La solución final, es un agua pura libre de materiales como coloides, minerales, bacterias, sales, etc.

La membrana semipermeable usada en la osmosis inversa permite filtrar gran cantidad de contaminantes presentes en el agua, sin embargo, no todo el líquido es capaz de atravesar dicha membrana, para lo cual se resultan dos fluidos, uno que se denomina permeado (bajos niveles de solutos) que es el líquido que atraviesa la membrana y otro que se conoce como concentrado o rechazo (altos niveles de solutos) siendo el líquido incapaz de atravesar la membrana.

La eficacia del proceso de osmosis inversa se puede medir en términos iónicos con la siguiente fórmula, ya que en este prácticamente rechaza iones

$$Eficacia = \frac{C_a - C_p}{C_a} * 100 \quad (1)$$

Donde:

Ca – Conductividad del agua a la entrada o alimentación

Cp – Conductividad del agua a la salida o permeado

Un dato importante a tener en cuenta cuando se va a usar la osmosis inversa es el coeficiente de permeabilidad del agua, ya que es un parámetro para informar acerca del volumen de agua que atraviesa la membrana por unidad de tiempo, unidad de presión y unidad de superficie, en condiciones de temperatura y salinidad constantes. Este es útil para el diseño de una planta y este coeficiente dependerá de las características de la membrana. Se expresa con la siguiente ecuación

$$Kw = D_a S V_p / R T E_m \quad (2)$$

Donde:

Da – difusividad del agua a través de la membrana

S – Solubilidad

Vp – Volumen parcial molar del agua

R – Constante de los gases

T – Temperatura de operación

Em – Espesor de la membrana

la permeabilidad de la membrana usada en la osmosis inversa debe ser muy pequeña para poder eliminar desde un 95% a un 99% de los sólidos disueltos totales y un 99% de las bacterias presentes en el agua.

2.8.2. Tratamiento Químico

2.8.2.1. *Carbón activado*

El carbón activado o activo es un carbón poroso extraído de maderas que son poco duras como es el caso del pino, cascaras como el coco, huevo y demás; los cuales una vez se encuentren en su forma porosa adecuada, se encargaran de retener compuestos orgánicos que se encuentran presentes en los gases o líquidos que rodean el medio ambiente, generando así una purificación masiva de estos; convirtiéndose de esta manera en el filtro más utilizado en los últimos años por los seres humanos. (Carbotecnia S.A., 2014)

Ahora bien, el principal beneficio obtenido por este tipo de carbón es la filtración y purificación del agua, el cual tiene la posibilidad de eliminar contaminantes como el cloro, disolventes orgánicos, pesticidas y demás que se encuentran presente en ella, este proceso se lleva a cabo gracias a que muchos de los contaminantes que se encuentran en el agua tienden a contener una carga positiva, lo cual conlleva a que estos sean atraídos por la carga eléctrica negativa que tiene el carbón activad, teniendo una capacidad aproximada del 20% y 60% dependiendo de la proporción de los poros que tiende a tener un diámetro de entre una y cinco veces la molécula que va a ser absorbida por este, es decir, 1 kg de carbón, retendrá entre 200 y

600 gramos de contaminante; es por esto que se ha convertido en uno de los minerales más utilizado para la elaboración de plantas de tratamientos y filtros para agua.

Existen dos tipos de carbón activado, el carbón activo en polvo y el carbón activo granulado, este segundo utilizado en estas plantas de tratamiento de agua y filtros debido a que por su alta porosidad retiene mayor contaminante del líquido tratado.

Para poder llevar a cabo una buena utilización del carbón activado para este tipo de plantas de agua se deberá tener en cuenta las reacciones que este tendrá en cuanto a la implantación y utilización del mismo; estas reacciones son catalizadas a mayor o menor velocidad teniendo en cuenta el tipo de carbón utilizado, dentro de las cuales influyen factores como la relación entre la cantidad de carbón utilizado y el agua a tratar, la concentración de cloro que contenga el agua, el tamaño de las partículas del carbón, la distribución del carbón y la temperatura en la cual se encuentre el agua a tratar, entre otros. (Bocos González, 2015)

2.8.2.2. *Resina ionizada*

Para la creación y manejo de industrias encargadas de tratamiento de aguas, es importante y necesario contar con ciertos procesos que brinden calidad al trabajo realizado y de esta manera garantizar que será realizado de la mejor forma posible.

Para lograr estos beneficios y cumplir con estas normas de calidad existen diferentes procesos y herramientas que se encargan de garantizar un excelente resultado al momento de tratar el agua, dentro de los cuales se puede encontrar el intercambio iónico, el cual ha sido uno de los procesos que más se ha estado implementando en los últimos años, debido a sus excelentes resultados para tratar la dureza del agua.

En este intercambio iónico, se pueden encontrar las llamadas resinas iónicas, la cual se lleva a cabo en un intercambio iónico con cadenas hidrocarbonadas las cuales ayudan a lograr un mejor proceso en la filtración y purificación del agua, para lo cual se deberá realizar una aplicación adecuada de la misma, pues existen diferentes tipos de aplicación para este tipo de materiales trabajados, dentro de los que encontramos el aislamiento y purificación, siendo este el más importante para el tratamiento y obtención de agua farmacéutica gracias a su gran suavidad y debida desmineralización o desionización.

Según (QuimiNet , 2012) las resinas iónicas poseen una clasificación que va a encaminada a los diferentes beneficios que se pueden obtener a través de estas; dentro de las cuales encontramos:

- Resinas catiónicas de ácido fuerte: en las cuales su funcionamiento se basa en dividir todas las sales que contienen estos líquidos y lo cual ayuda a tener una mejor suavidad en el mismo.
- Resinas catiónicas de ácido débil: estas son utilizadas en un nivel más bajo de velocidad de flujo y son manejadas a temperaturas bajas y funciona como una forma de hidrogeno al momento de utilizarse con una resina de ácido fuerte.
- Resinas anicónicas de ácido fuerte; su funcionalidad se lleva a cabo en el intercambio de amonio cuaternario.

- Resinas anicónicas de ácido débil; estas resinas absorben el ácido de los líquidos tratados, eliminando de esta manera ácidos fuertes de corriente, estas deben ser utilizadas en aguas con niveles de sulfato o cloruro donde no requiera la eliminación de alcalinos y de silicio.

Así mismo establece que las resinas ionizadas se utilizan en estas plantas para lograr una mayor calidad en el agua tratada, logrando obtener en este mayor porcentaje de suavidad, desalcalinización, desmineralización, mayor eliminación de nitratos y un aumento en el control de contaminación.

2.8.3. Tratamiento Biológico

2.8.3.1. Lámpara UV

La luz ultravioleta, es un tipo de radiación electromagnética la cual es invisible al ojo humano y posee una gran cantidad de utilidades en distintas áreas y oficios; dentro de la cual encontramos su utilización en tratamientos de agua, gracias a que esta luz cuenta con la capacidad de eliminar microorganismos, bacterias y demás virus que se encuentran en la misma, purificando de esta manera el agua sin necesidad de agentes químicos, convirtiéndose en uno de los germicidas más poderosos en el uso de filtros y tratamientos de este líquido.

Esta luz utilizada con cierta intensidad y tiempo estipulado tiene la capacidad de esterilizar o incluso rostizar dichos microorganismos, esto va dependiendo el equipo que se maneje para dicha actividad, cabe resaltar que esta luz suele funcionar donde agentes químicos como el cloro no logran llegar.

Los tratamientos de agua con luz ultravioleta tienen una desinfección del agua garantizada de hasta un 99,99% de los agentes patógenos; aunque para lograr que este porcentaje sea efectivo,

se debe tener en cuenta que el agua a tratar no está turbia, pues en este caso la luz no podrá penetrar perfectamente en el flujo del líquido (facilelectro, 2018)

Estas purificaciones de agua se llevan a cabo mediante radiación o iluminación con longitudes de onda desde 200 a 300 nanómetros; debido a esto las células de los microorganismos que son expuestos a este proceso, absorben los fotones UV causando así una reacción fotoquímica irreversible, la cual inactiva y destruye las células de los mismos.

Por tal razón, es que este proceso es uno de los más confiables y utilizados a lo largo de la historia, pues aparte de purificar el agua, da una desinfección instantánea de la misma lo cual ahorra tiempo y relativamente costos, es segura y ambientalmente es adecuada.

2.9. Automatización Y Control

la automatización es una de las tantas disciplinas de la ingeniería y de las ciencias experimentales gracias al gran impacto que ha tenido dentro del ámbito académico, inicialmente se denomina automatización al acto de automatizar, que, si bien es un verbo de la palabra automática, la Real Academia de la Lengua Española define la palabra automática como: “Ciencia que trata de sustituir en un proceso el operador humano por dispositivos mecánicos o electrónicos.” (Real Academia Española, 2018)

Alguna vez se ha escuchado decir el termino piloto automático, como por ejemplo en un avión, donde este es capaz de guiarse solo mediante la ayuda de sensores y programación para llegar a un destino sin problemas, así mismo funciona la automatización teniendo como objetivo principal predecir y controlar de mejor forma los procesos productivos, trayendo consigo muchos beneficios como la eliminación de tareas repetitivas y peligrosas para un operador humano, la

automatización tiene como ventaja optimizar los procesos al momento de disminuir errores causado por la mano humana.

Cuando la automatización es orientada al ámbito industrial, esta es aplicada al control y supervisión de los procesos industriales, es por ello que automatización y control vienen tomadas de la mano creándose así los sistemas de control automático.

Dentro de los problemas que se solucionan con ayuda de la automatización vemos que no solo existe una técnica única que condicione dicho problema, ya se requieren muchos conocimientos en las áreas de la mecánica, neumática, hidráulica, electricidad, electrónica, robótica, todos estos en un gran conjunto armónico logran recrear un sistema completo para dar solución a uno o varios problemas en un proceso industrial.

Al abarcar una gran cantidad de instrumentos en la automatización, se hace necesario implementar una simbología de los elementos presentes en un sistema automatizado con toda la nomenclatura acta para un perfecto entendimiento por parte del lector.

2.9.1. Control

Cuando hablamos de control se es difícil plantear una definición exacta, sin embargo al referirnos a la palabra lo primero que se nos viene a la mente es la acción de manipular, dominar, mandar o regular a voluntad alguna tarea en específico, en nuestro entorno cotidiano, encontramos un sinnúmero de ejemplos relacionados con el control de un sistema, como por ejemplo en nuestras viviendas frecuentemente hacemos uso a la palabra control cuando queremos accionar un interruptor mecánico que somete el fluido eléctrico hacia una bombilla e iluminar una habitación o el hecho de abrir y cerrar una válvula para controlar el paso del agua en un sistema de tuberías. Sin embargo, el control no solo va orientado a simples tareas, sino que puede

ser sistemas altamente complejos que llegan a controlar hasta una estación espacial. En base a lo anterior, se puede afirmar que control es el manejo indirecto de las magnitudes de un sistema de producción, es entonces lo que se conoce como un sistema de control.

2.9.2. Sistema de control

Para comenzar a adentrarse en lo que es una estructura de un sistema de control, debemos definir y entender lo que significa sistema de forma global, ya que posee diversos significados para cada persona, para Lennart Ljung en su libro System Identification, respectivamente traducido al español, nos define sistema como:

Sistema es un objeto en el que variables de distintos tipos interactúan y producen señales observables. Las señales observables que nos son de interés se suelen denominar salidas. El sistema está afectado también por estímulos externos. Las señales externas que pueden ser manipuladas por el observador se denominan entradas; las que no se pueden manipular se denominan perturbaciones y se dividen en aquellas que son directamente medibles y aquellas que son sólo observables por su influencia sobre la salida. (Ljung, 1998, p. 1)

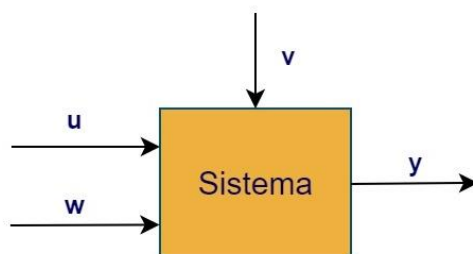


Ilustración 6. Esquema de un sistema.

Salida (y), Entrada (u), Perturbación medible (w), Perturbación no medible (v).

Fuente: Figura tomada y traducida de Ljung, 1998, System Identification: Theory for the User, p. 2

Los sistemas pueden ser puramente físicos, o abstractos relacionados entre sí, sin embargo, todos los sistemas tienen algo en común, todos ellos requieren que se especifiquen variables de entradas y variables de salidas, por ejemplo, si tenemos un sistema de CNC (Computer Numerically Controlled – Control numérico computarizado) la variable de entrada puede ser la potencia de accionamiento de los motores y las variables de salidas pueden ser la posición, la velocidad y la aceleración. Por tanto, un sistema puede denominarse como un conjunto de materiales, partes, componentes o procedimientos que se incluyen dentro de algún límite en específico, donde las variables de salida son respuesta de las variables de entrada. cuando es aplicado un sistema en un entorno real, las variables se dividen en dos grupos, unas denominadas variables de control, que se pueden manipular a voluntad y las perturbaciones las cuales no se les puede aplicar un control, cabe mencionar que un sistema puede contener cualquier número de entradas y salidas.

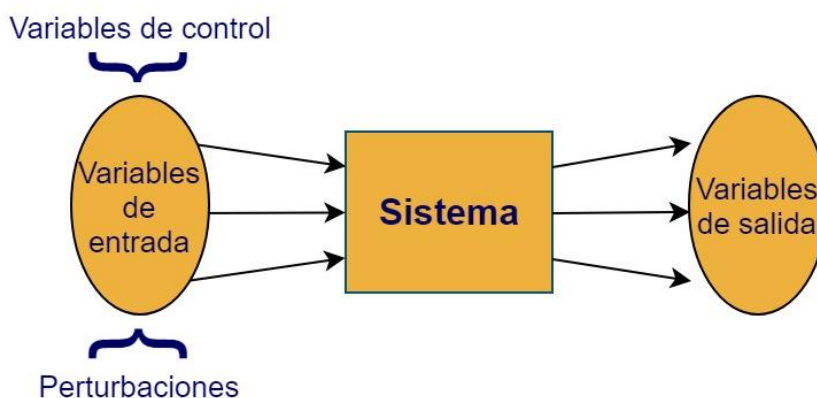


Ilustración 7. Esquema de un sistema con muchas entradas y salidas.

Fuente: Basada en “The concept of a system.” De (Burns, 2001)

En la gran mayoría de los sistemas por no decir todos, es necesario en algún momento aplicar un control cuando se quiere un resultado deseado en las variables de salida. Conocidos como

sistemas de control, es un tipo de sistema conformado con una serie de elementos o componentes que tiene como finalidad comandar o regular la respuesta de una parte del proceso, conocida como planta, sin que el operador intervenga directamente sobre sus elementos de salida. Lo único que manipula el operados son pequeñas magnitudes conocidas como señales y el sistema de control es el que se encarga de comandar dicha salida a través de una serie de actuaciones, de modo que se llegue al resultado deseado con una baja probabilidad de errores.

Se considera un sistema de control ideal siempre y cuando pueda garantizar estabilidad, ser robusto frente a todo tipo de perturbación o errores, que sea altamente eficiente, de fácil implementación y operación.

2.9.2.1. *Elementos de un sistema de control*

Los sistemas de control están conformados por los siguientes elementos básicos, la gran mayoría de sistemas los albergan de una u otra forma.

- **Variable a controlar:** Comúnmente se le es conocida como señal de salida. Constituye la señal que deseamos que adquiera unos valores determinados.

- **Señal de control o de referencia:** Es la condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable a controlar, es decir, el valor que se desea que adquiera la señal de salida (objetivo de control).

- **Planta o Sistema:** Constituye el conjunto de elementos que funcionan juntos realizando una determinada función en particular.

- **Sensores:** Son dispositivos que pueden detectar variables físicas, como la temperatura, la intensidad de la luz o el movimiento, y tienen la capacidad de proporcionar un resultado medible que varía en relación con la amplitud de la variable física. El cuerpo humano tiene sensores en los dedos que pueden detectar la rugosidad de la superficie, la temperatura y la fuerza. Un termómetro es un buen ejemplo de un sensor de línea de visión, ya que dará una indicación visual precisa de la temperatura. En otros sensores, como un sensor de presión de diafragma, puede requerirse un transductor de tensión para convertir la deformación del diafragma en una señal eléctrica o neumática antes de que pueda medirse.
- **Actuador:** Es un dispositivo que actúa sobre el sistema modificando de esta forma la señal de salida. Un tipo de actuador son los relés magnéticos que permiten o niegan la circulación de la corriente eléctrica en un circuito.
- **Controlador:** Son dispositivos que monitorean las señales de los sensores y toman las medidas necesarias para mantener el proceso dentro de los límites especificados de acuerdo con un programa predefinido mediante la activación y el control de los actuadores necesarios.

Cuando se trata del control de un proceso, existen dos formas denominadas control de lazo abierto y control de lazo cerrado.

2.9.3. Sistema de control lazo abierto.

Un sistema de lazo abierto es usado en aplicaciones simples sobre todo si su implementación están basadas en el tiempo, son de bajo costo y de fácil mantenimiento, se caracterizan porque las acciones de control son totalmente independientes de las señales de salida del sistema (Daneri, 2008), es decir la señal de salida no influye o no se compara con la señal de entrada, tampoco tiene efecto sobre la acción de control, de tal forma que el controlador no tiene en consideración el valor de la señal de salida con el valor de la señal de referencia para decidir qué acciones tomar en todo instante sobre el sistema. “Así, a cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fija; como resultado de ello, la precisión del sistema depende de la calibración.” (Ogata, 2010, p. 8)

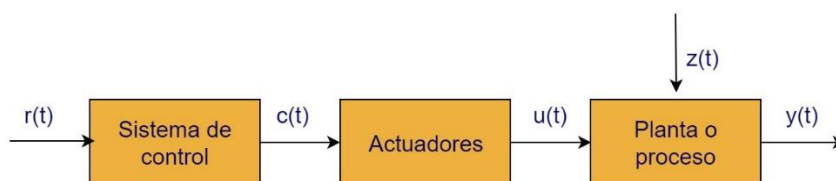


Ilustración 8. Esquema lazo abierto.

Señal de referencia $r(t)$, Señal de control $c(t)$, Señal de accionamiento $u(t)$, Perturbaciones $z(t)$, Señal de salida $y(t)$.

Fuente: Diseñado por el autor

El principal problema con los sistemas de control de lazo abierto es que la variable controlada es sensible a los cambios en el sistema causadas por las perturbaciones externas, esto tiene como consecuencia a que el sistema no sea capaz de realizar su propósito destinado (Ogata, 2010), otras desventajas es que son lentas e inexactas.

Los sistemas de control de lazo abierto funcionaran bien siempre y cuando se conozcan las relaciones entre las señales de entrada y salida, y si no existen perturbaciones internas ni externas sobre todo en el sistema (Ogata, 2010). Un ejemplo de un sistema de lazo abierto es el control de temperatura de un horno, el operador ajusta el valor de temperatura deseado mediante un

mecanismo (potenciómetro) que viene siendo la señal de referencia, orden o consigna, y de acuerdo a la posición en que se ajuste, el sistema de control se encargara de aumentar la corriente sobre una resistencia térmica mediante su etapa de potencia (actuadores), generando más calor y en consecuencia un aumento de temperatura dentro del horno.

2.9.4. Sistema de control lazo cerrado.

Este sistema también es conocido control con retroalimentación ya que mediante los sensores localizados en el proceso envían señales al sistema de control, permitiendo a este último conocer si las acciones ordenadas a los actuadores están cumpliendo con lo deseado en el proceso, es decir que la señal de salida tiene un efecto directo sobre la acción que toma el controlador. Dicho de otra forma, en estos sistemas se está comparando en todo momento la variable a controlar con la señal de referencia, de tal forma que, en función de la diferencia entre ambas señales (Kuo, 1996), el controlador sea capaz de modificar la acción de control sobre los actuadores del sistema.

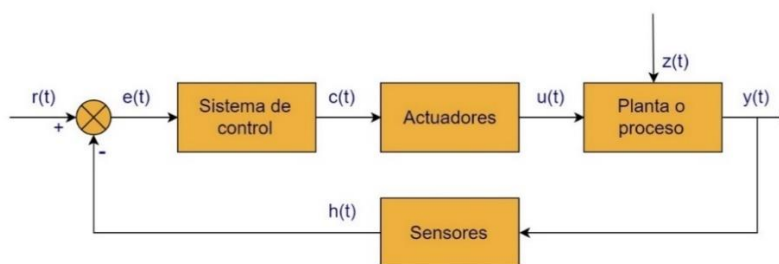


Ilustración 9. Esquema lazo cerrado.

Señal de referencia $r(t)$, Señal de error $e(t)$, Señal de control $c(t)$, Señal de accionamiento $u(t)$, Perturbaciones $z(t)$, Señal de salida $y(t)$, Señal de realimentación $h(t)$.

Fuente: Creación por autor.

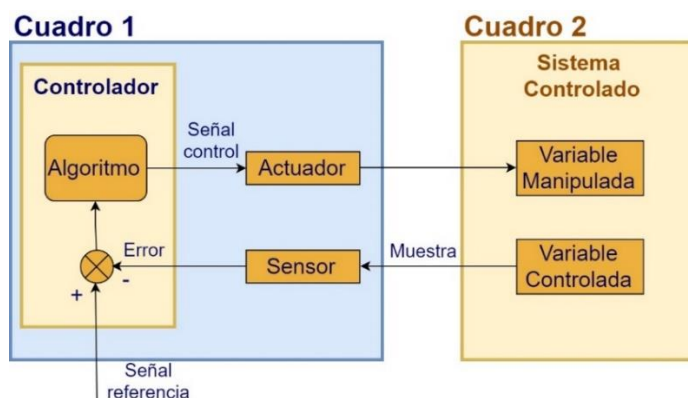


Ilustración 10. Esquema lazo cerrado detallado.

Fuente: Propia del autor.

La figura anterior que representa los elementos fundamentales de un control de lazo cerrado nos ayudara a entender un poco más acerca del funcionamiento de esta topología en un sistema. En el primer cuadro se localiza el controlador con su función de control o el algoritmo creado con la finalidad de comandar las acciones de control, este algoritmo es capaz de calcular una señal de error basándose en la diferencia entre el valor de referencia programado y la señal que recibe de los sensores. Según el valor del error calculado, el controlador enviara señales a la entrada del actuador, que, a su vez, se encargara de modificar bien sea la cantidad de materia o energía por medio de una variable manipulada, para tratar de mantener el valor de la variable controlada en el valor de referencia. El segundo cuadro detalla el sistema a controlar (proceso) con sus variables manipuladas y controladas. Es por ello que el término “lazo cerrado”, implica el uso de acción de realimentación para reducir el error del sistema, además como la salida del sistema se mide mediante un sensor y se compara con el valor de referencia, el sistema de control podrá responder mejor antes las perturbaciones que se generen en el sistema.

A diferencia del control de lazo abierto, las desventajas presentes en una topología son las ventajas de la otra, en este el caso del lazo cerrado se tiene que su respuesta es rápida y mucho más exacta, pero es una topología más compleja lo cual dificulta su mantenimiento.

2.10. Componentes de un sistema automático

En muchos de los sistemas de producción hoy en día se aplican sistemas automáticos para realizar modificaciones en tiempo real a un proceso y así obtener el resultado deseado, estos sistemas automáticos están conformados por una gran cantidad de instrumentos que nos permitirán medir, controlar o registrar magnitudes de un proceso con el fin de optimizar los recursos usados en este. Dicho de otra forma, estos la instrumentación aplicada a un sistema automático nos interpreta todo lo que sucede en un proceso de forma que podamos entenderlo y determinar si va direccionado hacia el objetivo deseado, y en caso de no ser así, nos permitirá ajustar usando esa misma instrumentación actuando directamente sobre algunos parámetros del sistema.

A lo largo de todo un proceso bien sea en las líneas de producción, elaboración o modificación se hace necesario la aplicación de un conjunto de instrumentos que nos permitan medir y controlar las variables implícitas en un proceso con la finalidad de obtener un resultado deseado al final del mismo, los procesos pueden abarcar gran cantidad de variables y dependiendo de ello (Otero Ramos, s.f) clasifica los instrumentos en varios conjuntos como son, la variable operacional a la que pertenecen (Temperatura, Nivel, Caudal, Presión, Etc.), la función que cumple en instrumento (Indicar, Transmitir, Controlar, Registrar), el tipo de instrumento (Mecánico, Eléctrico, Electromecánico, Electrónicos, Neumáticos, Hidráulicos).

2.11. Características de los instrumentos

Al momento de elegir un instrumento es prioridad conocer las características más importantes del instrumento que se está interesado, Creus (2010) plantea las siguientes definiciones de acuerdo a las sugerencias realizadas por la ANSI/ISA-S551.1-1979 (R 1993) el 26 de mayo de 1995

- **Campo De Medida O Rango (Range):** Es el conjunto o espectro de valores de la variable dentro de los límites superior e inferior de medida, en los cuales el instrumento es capaz de operar en forma confiable. Por ejemplo, un termómetro de mercurio con rango de 0 a 100 grados Celsius.
- **Alcance (Span):** Es la diferencia algebraica entre el valor superior e inferior del campo de medida del instrumento. Para el caso del termómetro del ejemplo, el SPAN será de 100 grados Celsius.
- **Error:** Es la diferencia algebraica que existiría entre el valor que el instrumento este midiendo en la variable del proceso y el valor que realmente tenga esa variable en ese momento.
- **Precisión:** Esto es la tolerancia mínima de medida que permitirá indicar, registrar o controlar el instrumento. En otras palabras, es la mínima división de escala de un instrumento indicador. Generalmente esta se expresa en porcentaje (%) del SPAN.

- **Zona Muerta (Dead Band):** Es el máximo campo de variación de la variable en el proceso real, para el cual el instrumento no registra ninguna variación en su indicación, registro o control.
- **Sensibilidad:** Es la relación entre la variación de la lectura del instrumento y el cambio en el proceso que causa este efecto.
- **Repetibilidad:** Es la capacidad de un instrumento de repetir el valor de una medición, de un mismo valor de la variable real en una única dirección de medición.
- **Histéresis:** Similar a la repetibilidad, pero en este caso el proceso de medición se efectuará en ambas direcciones.
- **Tiempo de respuesta:** Es la cantidad de tiempo requerido por un sensor para que responda completamente a los cambios de una entrada. El tiempo de respuesta de un lazo de control es la combinación de los tiempos de respuesta de todas sus partes, incluyendo el sensor. La exactitud de un instrumento se puede medir y es expresada en:
 - En términos de la variable medida: Por ejemplo $\pm 1^{\circ}\text{C}$.
 - Porcentaje del span. Por ejemplo $\pm 0.5\%$ del span.
 - Porcentaje del valor máximo: Por ejemplo $\pm 0.2\%$ de 300 PSI.
 - Porcentaje de la longitud de la escala.
 - Porcentaje de la lectura actual.

- **Trazabilidad:** Propiedad del resultado de las mediciones efectuadas con un instrumento tal que pueda relacionarse con patrones nacionales o internacionales, mediante una cadena ininterrumpida de comparaciones, con todas las incertidumbres determinadas.

2.12. Funciones de los instrumentos de un sistema automático

En todo sistema automático se pueden apreciar tres bloques fundamentales, los sensores o transductores que nos suministran la información en forma de señales del proceso, el procesamiento de estas señales usando lógicas de control y por último los actuadores que ejecutan las respuestas que envían los sistemas de control.

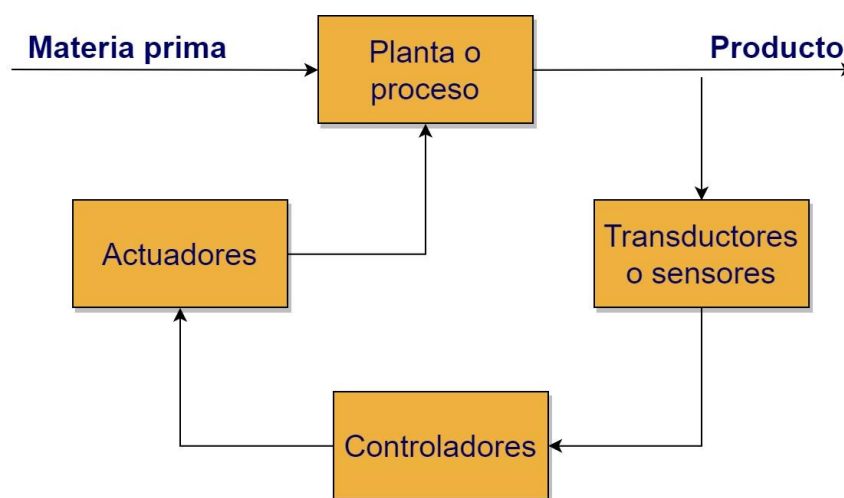


Ilustración 11. Esquema de un sistema automatizado.

Fuente: Propia del autor.

Existe gran variedad de instrumentos diseñados con un fin específico, esto hace que se tenga que aplicar una simbología a cada uno de ellos lo cual nos permitirá interpretar planos para realizar bien sea montajes o mantenimientos. A continuación, se detalla la función de los instrumentos en un sistema automático.

2.12.1. Transductor o sensor

Dentro de un proceso, existen muchas magnitudes que necesitan ser medidas para tomar una acción de control, así como nosotros somos capaces de percibir con nuestros sentidos el entorno que nos rodea para tomar decisiones, también es posible captar un entorno con el diseño de algunos dispositivos, estos son los transductores o sensores, Daneri (2008) establece que aunque si bien estos términos se puedan aceptar como sinónimo, el transductor es quizás más amplio ya que estarían conformados por un sensor y el acondicionamiento de la señal.

Un transductor es un dispositivo o sistema que como lo dice su nombre, transforma, acondicionan y escalan un tipo de variable o magnitud física bien sea, presión, humedad, temperatura, velocidad, etc., en una magnitud eléctrica en función de la medición. Generalmente la magnitud es transformada en intensidad, voltaje o impedancia, de forma que esta última constituya una réplica, tan perfecta como sea posible de aquella magnitud percibida.

Como se comentó anteriormente, el transductor se puede diferenciar entre el sensor, ya que el sensor es el elemento sensible primario que responde a las variaciones de la magnitud física que se mide, y el transductor, es el que lleva a cabo la conversión energética de la magnitud de entrada para dar como salida una señal eléctrica. Así, por ejemplo, un transductor de presión se puede construir con una membrana a la que se une una galga extensiométrica (resistencia cuyo valor depende de su deformación). En este caso, el diafragma es el sensor, mientras que la galga es el transductor, al final se le integra un puente de Wheatstone el cual acondiciona y amplifica la señal eléctrica en función de la variación de la galga, para luego ser enviada al controlador que posterior será procesada, cabe mencionar que algunos transductores tienen esta última etapa alejada del sensor para evitar que las magnitudes físicas deterioren el circuito, como por ejemplo

las altas temperaturas en hornos de más de 1000 grados Celsius podrían fundir la electrónica de la etapa de acondicionamiento.

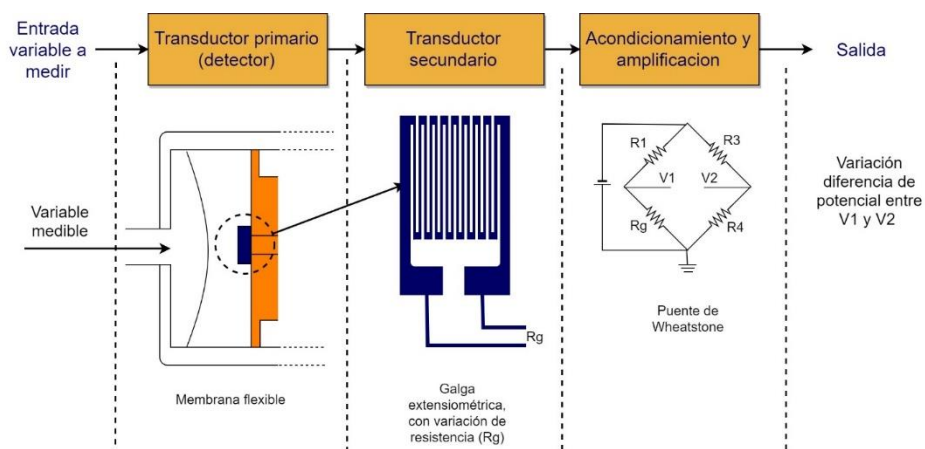


Ilustración 12. Etapas que componen un transductor genérico y detalle de la conversión de magnitudes en un transductor de presión.

Fuente: Basada en la figura de (Daneri, 2008, p. 48)

La calibración de un transductor es necesaria si se quiere tener un funcionamiento óptimo del instrumento y una medición lo más exacta posible, evitando un resultado indeseado; la forma de realizar la calibración de un transductor es comparando la relación entre la variable medida y la señal que emite el transductor.

2.12.1.1. Clasificación de los transductores

Debido al avance tecnológico se han logrado implementar una gran cantidad de transductores o sensores para medir diversas magnitudes, esto hace difícil clasificarlos de forma general, sin embargo, se pueden agrupar con la finalidad de facilitarnos al momento de determinar que sensor nos es más conveniente a usar dependiendo de la naturaleza de la magnitud que se desee medir, el tipo de señal que se va a tratar o el ambiente donde se va a implementar, además con esta

agrupación logramos entender mejor cómo funcionan. (Serna Ruiz, Ros García, & Rico Noguera, 2010)

Según su funcionamiento: Esta clasificación sin duda es la más general de todas y se divide en dos:

- **Activos (generadores):** Estos sensores tienen la habilidad de generar una tensión de salida por sí mismos, es decir que no requieren de una alimentación externa, pero si necesitan un amplificador ya que su salida generalmente es de un bajo nivel. Existe una variedad de sensores activos, como los piezoeléctricos los cuales generan una tensión eléctrica proporcional a la presión mecánica que se ejerza en ellos o viceversa, también se tienen los termoeléctricos, fotovoltaicos, etc.
- **Pasivos (moduladores):** a diferencia de los sensores activos, estos requieren una fuente de alimentación externa para su excitación, la razón es porque las magnitudes físicas a medir alteran las propiedades de un elemento pasivo del sensor como una resistencia, un inductor o un capacitor. Un ejemplo de ello se aprecia cuando se implementa un puente de Wheatstone

Según el tipo de señal que generan:

- **Analógicos:** Proporcionan una señal analógica continua, (voltaje o corriente), en función de la magnitud física medida, esta señal no tiene un rango determinado, pero por lo general suelen tener un acondicionamiento de señales para otorgar salidas normalizadas de 0 a 10 V o 4 a 20mA.

- **Digitales:** Producen una señal de salida discreta o binaria, en la forma de un conjunto de bits de estado en paralelo o formando una serie de pulsaciones que pueden ser contadas, representando de una u otra forma el valor de las magnitudes físicas medidas. Los transductores digitales tienen la ventaja de ser más compatibles con las computadoras digitales a comparación con los sensores analógicos.

Según rango de valores de salida: Básicamente se tienen dos tipos, los Todo o nada (On/Off) que si bien, como su nombre lo indica solo permiten pasar de un estado a otro, es decir son binarios, sus salidas son 1 o 0, abierto o cerrado, el otro tipo es el de medida, los cuales suministras una salida proporcional a la entrada.

Según el nivel de integración: En este apartado se encuentran 3 tipos dependiendo de donde se van a aplicar, están los discretos los cuales se caracterizan por tener las etapas de medición y acondicionamiento separadas pero interconectadas entre sí, los tipo integrados que como su nombre lo indica, junta o unifica todo en un solo componente (sensor y acondicionamiento) y los inteligentes integran varias funciones dentro de un solo dispositivo, como el procesamiento de la señal, el envío de la señal mediante un protocolo de comunicación, todo esto llegando a incrustarse todo en una tarjeta embebida.

Según el principio de transducción: Esta clasificación no es tan precisa al momento de indicarnos que sensor usar acorde a la magnitud a medir, sin embargo, nos ofrece información acerca de su funcionamiento y en base a ello poder aplicarlo para medir una variable. Aquí se clasifican los siguientes:

- **Mecánico:** utilizan contactos mecánicos que se abren o cierran cuando un objeto los toca físicamente.
- **Resistivos:** Varían su resistencia dependiendo de la variable que están midiendo.
- **Inductivos:** Construido con bobinas, usan campos electromagnéticos para detectar la presencia de metales.
- **Capacitivos:** Este sensor utiliza un campo electrostático, con el que se pueden detectar elementos metálicos y no metálicos.
- **Piezoeléctricos:** Se basan en el principio piezoeléctrico para funcionar, transforman una tensión mecánica en una señal eléctrica proporcionalmente y viceversa.
- **Ultrasónico:** Usan las señales de sonido de alta frecuencia o señales ultra sónicas para detectar objetos.
- **Químicos:** Experimentan cambios cuando detectan agentes químicos en el ambiente donde estén ubicados.
- **Fotoeléctrico:** Responden al cambio de la intensidad de luz que incide sobre ellos.
- **Termoeléctrico:** Varían de acuerdo a la temperatura del lugar donde estén localizados, usan el principio del efecto Peltier y el efecto Thomson.

Según el tipo de variable física a medir: Al momento de decidir qué sensor usar, lo primero es conocer qué tipo de variable se desea medir, en base a ello elegir el más adecuado teniendo en cuenta que un solo sensor sirve para medir varias magnitudes, la siguiente tabla nos permite conocer el tipo de sensor en función de su variable a medir.

Tabla 9*Resumen de variables a medir dependiendo del tipo de sensor.*

Tipo de sensor	Distancia, posición, desplazamiento	temper atura	iluminac ión	humeda d	presión	cau dal	Gas/h umo
Mecánico	X						
Resistivo	X			X	X	X	
Inductivo	X				X	X	
Capacitivo	X			X	X		
piezoeléctrico					X	X	
ultrasónico	X					X	
Químico							X
Fotoeléctrico	X		X				
Termoeléctrico		X					

2.12.1.2. Características de los sensores

Una vez determinado el tipo de sensor a usar para medir una determinada magnitud, se debe tener en cuenta ciertas características que nos garantizan un buen funcionamiento del sensor en el sistema tales como, la rapidez de respuesta, relación calidad/precio, consumo energético, confianza de medida, espectro de funcionamiento en relación a la temperatura, posibilidad de interferencia causada por magnitudes externas, resistencia a cambios físico y químicos en el ambiente donde son instalados.

Las características técnicas de los sensores juegan un papel importante a la hora de elegir el sensor a usar, estas características se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 10

Características técnicas de los sensores.

Campo de medida	Rango entre los valores máximos y mínimos que puede detectar el sensor
Resolución	Capacidad para discernir entre valores próximos de la variable de entrada
Precisión	Máxima desviación entre la salida real y el valor teórico de dicha salida.
Repetibilidad	Máxima desviación entre los valores de salida obtenidos al medir varias veces un mismo valor de entrada, utilizando el mismo sensor y en idénticas condiciones ambientales
Linealidad	Máxima desviación entre la respuesta real y la respuesta puramente lineal, referida al fondo de escala
Sensibilidad	Variación de la salida producida por una determinada variación de entrada. en sensores lineales esta relación es constante en todo el campo de medida

	Perturbación aleatoria que produce una
Ruido	desviación de la salida con respecto al valor teórico
	Se presenta cuando a igualdad de
Histéresis	magnitud de entrada, la salida depende de si dicha entrada se alcanzó con aumentos en sentido creciente o decreciente
	Capacidad para que la señal de salida
Velocidad de respuesta	siga sin retirado a las variaciones de la señal de entrada.

Nota. Fuente: Daneri, P. A. (2008). *PLC Automatización y Control Industrial* (Primera ed.). Buenos Aires: HASA.

2.12.2. Actuadores

Corona Ramírez, Abarca Jiménez, & Mares Carreño (2014) definen un actuador como un “dispositivo con la capacidad de generar una fuerza que ejerce un cambio de posición, velocidad o estado de algún tipo sobre un elemento mecánico a partir de la transformación de energía” (p.25).

Estos mismos son los elementos o dispositivos finales de un sistema de control, quienes, mediante una señal proveniente del controlador, realizan una acción determinada en un proceso, como por ejemplo el abrir o cerrar una válvula que controla el paso de un determinado líquido. Algunas veces, la señal que proviene del controlador se convierte mediante una interface en una magnitud que el actuador pueda comprender, esto sucede en el caso de que el actuador sea

hidráulico o neumático, este último es muy usado en ambientes donde existe peligro de ignición o explosión debido a la presencia de vapores combustibles.

Los actuadores pueden clasificarse en dos grupos, los de estado todo o nada y los proporcionales, estos últimos poseen un posicionador dentro del actuador que ajusta la posición final del elemento en función de las señales provenientes del controlador.

Los actuadores utilizan tres tipos de energía para funcionar, la neumática, hidráulica y la eléctrica, el usar un tipo en específico dependerá en gran medida del proceso al que se desee aplicar.

2.12.2.1. *Válvulas de control*

Las válvulas pueden ser accionadas por solenoides o motores eléctricos y estas nos permiten regular y controlar el paso de un fluido según las órdenes del controlador, y pueden distinguirse por su construcción y forma de operar.

2.12.2.2. *Contactores o relés*

Los contactores son dispositivos que funcionan como un interruptor que en este caso es accionado eléctricamente energizando con una baja corriente un solenoide que cambia el estado del contactor de abierto a cerrado o viceversa, estos son muy útiles cuando se trabajan con altas corrientes y voltajes.

Estos dispositivos trabajan con tensiones que van desde los 5v hasta los 220v y nos permiten activar o desactivar un sinnúmero de instrumentos como un motor, una resistencia térmica, una bombilla, un extractor, cualquier instrumento que solo requiera encender y apagar sin necesidad de ser regulado.

Se pueden usar 2 tipos de contactores, los electromecánicos como los relés y los sólidos conformados con tiristores o TRIAC, uno con ventajas sobre la otra, por ejemplo, los tiristores son más rápidos en respuesta de conmutación que los relés, pero estos necesitan disipación ya que generan mucho calor en función de la corriente que transcurra por ellos.

2.12.3. Controlador

Lamb (2013) define el controlador o controladores de la siguiente forma.

“Los controladores proporcionan la parte de computación, cálculo y administración de Entrada / Salida de un sistema de automatización. Pueden actuar como un núcleo o estar conectados en red y distribuidos en todo el sistema.” (p.61). En síntesis, el controlador viene siendo el cerebro del sistema automatizado, que es capaz de tomar las decisiones de acuerdo a su programación. Uno de los componentes en los controladores es el microprocesador, la integración de este tiene muchas ventajas al momento de tratar señales en tiempo real tanto análogas como digitales. Actualmente en los sistemas automatizados suelen usarse varios controladores, como los Controladores Lógico Programables (Programmable Logic Controller – PLC) , las computadoras, los sistemas de control distribuido (Distributed Control Systems - DCS), y los sistemas embebidos, cada uno con diferentes características, ventajas, niveles de complejidad y características, por lo que la elección de que controlador dependerá del sistema automatizado donde se va a usar teniendo en cuenta costos, velocidad, ergonomía, entre otros. Para el presente proyecto se usará una tarjeta de desarrollo llamada Arduino, la cual es un sistema embebido de fácil acceso y que cuenta con un lenguaje de programación de alto nivel.

2.12.3.1. *Sistemas embebidos*

Los sistemas embebidos es la agrupación de varios subsistemas en una sola tarjeta con la finalidad de realizar una o varias tareas previamente programadas, es importante mencionar que trabajan en tiempo real y que son usualmente diseñados para tareas específicas. Los subsistemas que conforman el sistema embebido varían dependiendo del propósito que fue diseñado, ya que pueden integrar componentes para una actividad en específico tales como tarjetas gráficas, tarjetas de audio o tarjetas de comunicación, sin embargo, el sistema embebido siempre se va a componer de una CPU, puertos de comunicación, módulos de E/S, conversores Ac/Dc y Dc/Dc, memorias ROM y RAM y el módulo reloj.

Para que estos sistemas embebidos funcionen, deben programarse previamente, para ello se puede hacer usando lenguajes de bajo nivel como assembler o ensamblador, o bien sea de alto nivel como C, C++.

Capítulo III: Metodología

3 Metodología para el diseño de la planta de tratamiento de agua portátil.

El diseñar una planta de tratamiento de agua portátil y automatizada es un proceso un poco más compleja que el agregar componentes en dicha planta al libre albedrio teniendo en cuenta solo la función de los componentes que se van a agregar, ya que se podrían agregar materiales innecesarios o inadecuados para el correcto funcionamiento, llevando a un sobre consumo energético y derroche de materiales y dinero, bajo la premisa anterior se debe implementar una metodología que busque detallar procedimientos relacionados con el diseño de la planta, tales como la elección de los materiales.

Una metodología que podría aplicarse en gran medida al proyecto presente debido a que se implementan varias etapas que se deben tener en consideración a la hora de diseñar una maquina eficaz y amigable con el medio ambiente. Tomando como referencia esta la metodología, se propone a diseñar una metodología basada en fases con las que se lograra obtener un diseño de la planta que cumpla con el objetivo principal del proyecto partiendo desde la idea principal. (Barrios Montes & Barrios Taibel, 2009), la siguiente ilustración resume la metodología a usar en este proyecto.

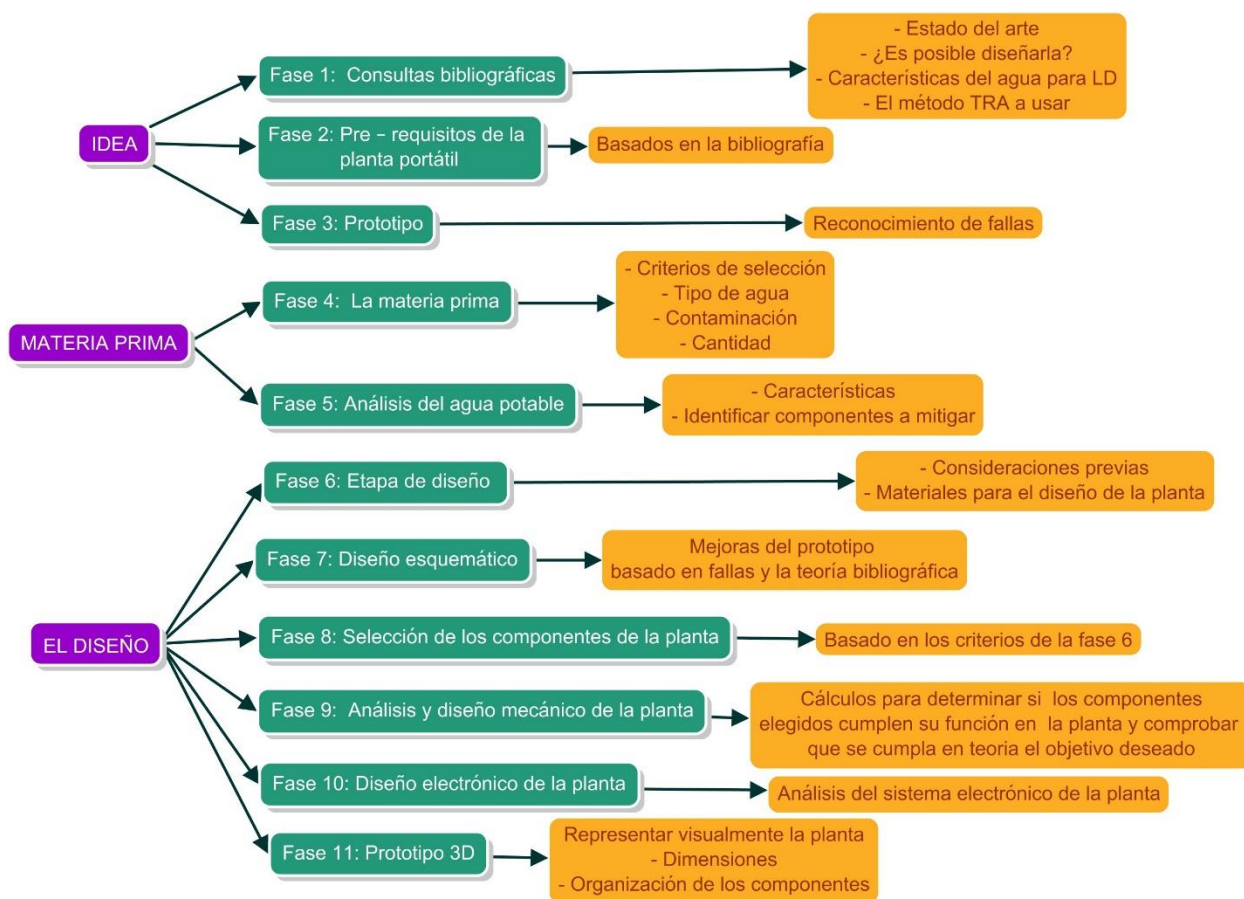


Ilustración 13. Resumen de la metodología implementada.

Fuente: Basada en la metodología de (Barrios Montes & Barrios Taibel, 2009, p 32)

3.1. Fase 1: Consultas bibliográficas.

Una vez establecida la idea, lo primero fue acudir a fuentes de información que ayuden a materializar la idea para desarrollar el proyecto presente, se realizaron búsquedas en libros, tesis de grado, revistas, resoluciones nacionales e internacionales relacionados con la calidad físico química y microbiológica del agua potable, y la del líquido de diálisis, se hizo una revisión y estudio del arte relacionados con los procesos de hemodiálisis, toda esa información fue tomada y organizada de tal forma que permitan diseñar una metodología con la que se diseñara el proyecto presente.

3.2. Fase 2: Pre – requisitos de la planta portátil:

A partir de la idea principal y para suplir la necesidad de la problemática, se desea que la planta portátil debe tener como mínimo una membrana la cual eliminará la mayor parte de contaminante como iones, moléculas, y partículas, un filtro de carbón activado que purificará el agua que sea tratada con químicos como el cloro, filtro polipropilenos para la retención de arena fina, lodo, óxido o partículas en suspensión, lámpara UV para esterilizar bacterias, virus y microorganismos y la resina ionizada para tratar la dureza del agua. Un sistema de control que garantice los parámetros necesarios para los monitores de HD, una interfaz gráfica entendible y alarmas para cualquier eventualidad como por ejemplo determinar el tiempo de vida de los filtros usados.

3.3. Fase 3: Prototipado.

En la actualidad se ha fabricado un prototipo no automatizado de la planta que se desea diseñar, este prototipo está conformado por una red de procesos que buscan tratar el fluido entrante (agua potable) y proporcionar uno de condiciones ideales necesarias para la máquina de hemodiálisis, esta red es conformada por las siguientes etapas.

Inicialmente el líquido fluye por una etapa de pre filtrado conformado por 3 cartuchos (polipropileno, carbón activado granular y carbón activado en bloque) que logran eliminar las partículas mayores a 5 micrómetros que estén presentes en el líquido entrante y los contaminantes químicos como el cloro, el líquido que sale de los filtros posee baja presión de caudal por lo que se implementará una bomba de agua con el fin de suministrar la cantidad de presión necesaria para que la osmosis inversa pueda ejecutar su trabajo la cual eliminara la

mayoría de iones, moléculas, y partículas en suspensión, contiene una lámpara UV para esterilizar el agua de bacterias, virus y microorganismos y por último se incorpora un controlador para activar y desactivar la bomba además de determinar por estimación de tiempo la vida de los cartuchos usados.



Ilustración 14. Prototipo de planta para tratamiento de agua portátil.

El agua permeada transcurre por la manguera azul.

Fuente: Propia del autor.

Este prototipo contiene algunas falencias, principalmente no entrega el tipo de agua requerido para LD, puesto que no cumple con parámetros de conductividad deseado y tampoco con el caudal requerido por lo monitores de HD, estas falencias se deben inicialmente a que la planta no está bien dimensionada para tratar la variación de las características físico químicas del tipo de agua (agua del grifo) que es ingresada a la planta, a evidencia de lo anterior, se realizaron mediciones de conductividad al agua entrante y el agua saliente.



Ilustración 15. Toma de muestra de agua potable municipal directamente del grifo en la ciudad de Montería / Córdoba.

Fuente: Propia del autor.



Ilustración 16. Medición de conductividad a agua potable municipal en la ciudad de Montería /Córdoba.

Fuente: Propia del autor.

Las fotografías anteriores evidencian lecturas de conductividad realizadas directamente al agua de grifo, usando el instrumento HI 9033 - medidor multirango de TDS y EC otorga unos valores de 146 micro Siemens



Ilustración 17. Toma de muestra agua permeada de la planta portátil.
Fuente: Propia del autor.



Ilustración 18. Medición conductividad a muestra de agua permeada.
Fuente: Propia del autor.

Se procede a realizar medición de conductividad en el agua de permeado del prototipo con el mismo instrumento, como se puede apreciar la medición se aproxima mucho a las condiciones deseadas para la conductividad, por lo que, realizando un mejor diseño basado en cálculos de

dimensionamiento, se lograra cumplir con los requisitos físicos para los monitores de hemodiálisis y para la calidad de agua con la que se fabrica el líquido de diálisis.

3.4. Fase 4: La materia prima

3.4.1. Criterios para la elección del material

Actualmente no se puede usar cualquier tipo de agua como materia prima a tratar, inicialmente porque el agua tiene diferentes propiedades físico químicas que muchas veces dependen del sitio geográfico donde se encuentra y el ambiente que la rodea, otro factor es el nivel de tecnología que usa hoy en día para tratar agua, aunque se puede lograr el agua deseada, el procedimiento requiere de grandes instalaciones por lo que para este proyecto sería un inconveniente ya que se desea diseñar una planta portátil y de calidad; teniendo en cuenta estos factores se establecen unos criterios a la hora de elegir el tipo de agua a usar para tratar en la planta portátil y así garantizar el resultado final y éxito de la máquina.

3.4.2. Tipo de agua a usar.

El tipo de agua a usar como materia prima, es el agua potable, tiene ventajas que podemos subrayar sobre usar cualquier otro tipo de agua, como primera se conocen los parámetros del líquido y se establecen topes para considerarla potable, es económica y su tratado para llegar a líquido deseado se facilita en gran medida; al usar agua potable, se extenderá el tiempo de vida de las membranas usadas en la máquina, es fácil de conseguir, además las características físico-químicas del agua potable están establecidas en las resoluciones nombradas en el marco legal, por lo que si el suministro de agua pública de un municipio cuenta con estas características o muy similares, se podrá usar este líquido en la máquina, es de tener en cuenta que las características

del agua potable que podrían variar dependiendo de los procesos usados a gran escala en las plantas de tratamiento municipal.

3.4.3. Contaminación

La contaminación que genera la maquina es mínima, y es generada por el rechazo del agua en el proceso de osmosis inversa la cual contendrá gran cantidad de sales, sin embargo, no la hace inútil en vista de que se le puede usar para otras tareas que no requiera de un agua de calidad como labores de aseo; la cantidad de contaminación en el agua rechazada se podrá estipular conociendo las características del tipo de membrana a usar.

3.4.4. Cantidad de agua potable a usar

Los monitores de HD exigen un flujo de agua ultra pura para preparar el LD que según su modelo puede variar de entre los 300 ml/min hasta los 1200 ml/min, varios monitores de HD como por ejemplo Fresenius 4008S classix consume un máximo de 800 ml/min, o el monitor Gambro AK96 consume un máximo de 700 ml/min; tomando un valor máximo de 1200 ml/min llegando así a consumir un máximo de 72 l/h y 288 litros por sesión de diálisis (la sesión tiene una duración aproximada de 4 horas), sin embargo esta no es la cantidad total de agua necesitada a usar, ya que esta cantidad seria el permeado de la osmosis inversa, por lo que la cantidad de agua a usar va a depender del factor de recuperación de la membrana de osmosis inversa, este valor de recuperación pueden estar comprendido desde un 15% hasta un 70%, no obstante, este valor puede variar dependiendo de parámetros como la presión, la calidad de agua potable o la temperatura.

3.5. Fase 5: Análisis del agua potable.

Se realiza una consulta bibliográfica acerca de los parámetros físico químicos establecidos bajo resoluciones colombianas acerca de la calidad del agua potable, esto es con la finalidad de identificar todos los componentes máximos permisibles que contiene este tipo de agua y saber que método es eficaz para tratarla y llegar a las condiciones deseadas de agua ultra pura usada para fabricar el líquido de diálisis y usada en las máquinas de hemodiálisis.

Dentro de las consultas realizadas, se optó por solicitar una copia de los resultados físico – químicos y microbiológicos del agua potable en el municipio de Tierralta/Córdoba, de los resultados (véase anexo C) se concluye que los valores medidos están por debajo de los máximos permitidos establecidos en las resoluciones colombianas siendo un resultado beneficioso para el diseño teórico de la planta.

3.6. Fase 6: Etapa de diseño

3.6.1. Consideraciones previas

Al momento de diseñar y ejecutar un proyecto se tiene en cuenta la viabilidad económica, considerando que el presente proyecto busca el diseño de una máquina que estará enfocada al sector salud, es necesario que esta pueda y deba funcionar por muchas horas al día sin presentar problema alguno, mucho menos cuando se esté usando en el proceso de hemodiálisis, además como se proyecta al punto de la implementación se hace importante destacar factores para su diseño tales como:

- La relación calidad/costo de los materiales a usar en la máquina.
- El consumo energético de los dispositivos electrónicos.

- La cantidad de componentes a usar, por ejemplo, se tendrá en cuenta sensores que puedan ejecutar más de una función, como medir caudal y temperatura en un solo dispositivo.
- La vida útil de los componentes físicos.
- La dificultad de mantenimiento de los componentes que conformen la maquina como el fácil reemplazo de los mismos.
- Como se busca una maquina portátil, se buscará materiales livianos, de un menor tamaño físico posible respetando la relación calidad/costos y que cumplan con el objetivo deseado.

3.6.2. Elección de componentes

El tipo de agua usada para diálisis requiere de unas características específicas, esta se puede obtener mediante un proceso de tratado para el agua gracias al conjunto de varios componentes y dispositivos. El llegar a un tipo de agua útil para los procesos de diálisis partiendo desde un agua de tipo potable, requiere cierta cantidad de componentes que deben ir instalados respetando un orden en que realizan cada función, estos componentes deben escogerse bajo los criterios antes mencionados. En este apartado solo se van conocer los componentes a usar de forma general y su función, se dividen en dos partes principales, tratado de agua, y electrónica, en el capítulo de diseño se realizarán los cálculos y evaluaciones necesarias para escoger el componente adecuado para cumplir con una función dentro del proceso de tratado de agua y su control.

3.6.3. Materiales para el diseño mecánico

La forma en que se trata el agua fue definida en el capítulo anterior, basado en ellos se buscaran componentes que se adapten al sistema y cumplan con sus funciones para tratar el agua.

La porta cartucho es un material importante ya que tanto el carbón activado, como la resina ionizada es almacenada en ellos, el elegir una dimensión en específico dependerá de factores como la cantidad de agua a tratar, dimensionamiento de la planta o la calidad del agua a tratar.

Carbón activado: El carbón activado se puede encontrar de dos formas en el mercado, como granular y en bloque, ambos en cartuchos ya que al ser un medio filtrante tienen a tener un tiempo de vida útil que al agotarse lo recomendable es reemplazarlos, no son costosos y la alta demanda para tratar el agua en el hogar ha hecho que se puedan obtener en varios tamaños con forma de cartuchos.

Osmosis Inversa: Para el proceso de osmosis inversa se requiere de una membrana que sea capaz de remover impurezas y dejar pasar sobre ella solo agua con la mínima cantidad de contaminantes, se debe tener un especial cuidado al momento de elegir la membrana, ya que los fabricantes las diseñan en tamaño dependiendo del tipo de agua a tratar, por ejemplo, las membranas para tratar el agua de mar tienden a superar el metro de longitud por cada cartucho con una tasa de recuperación baja, en este caso se buscara una membrana que sea lo más pequeña posible, con una alta tasa de recuperación para evitar el derroche de agua y que cumpla con el máximo del caudal deseado que es de 1200ml/min.

Lámpara UV: La lámpara UV como se mencionó en el capítulo anterior, sirve para eliminar los agentes microbiológicos presentes en el agua, para elegir la que se necesita en el proyecto, se debe tener en cuenta el caudal de permeado ya que estas vienen dimensionadas dependiendo del caudal que circula sobre ellas, además si se elige la indicada para el caudal, no se está

derrochando energía por el consumo de la lámpara ya que hay lámparas que pueden llegar a consumir 90 W.

3.6.4. Materiales para el diseño electrónico

Los componentes electrónicos que formaran parte del proceso control automatizado, conformado por los sensores, procesamiento de datos, visualización, accionamiento y fuente de alimentación, el propósito de este apartado es conocer las diferentes formas para medir magnitudes y elegir las apropiadas para nuestro proyecto.

3.6.5. Sensores

Como se mencionó en capítulos anteriores, se requieren ciertos parámetros en el agua esenciales para el correcto funcionamiento de las máquinas de HD y además no afectar la salud del paciente, estos parámetros pueden ser medidos en tiempo real gracias a la implementación de sensores en varios puntos de la planta. Los sensores a usar deben ser capaces de medir los siguientes parámetros.

3.6.5.1. *Temperatura:*

La temperatura es una de las variables más comunes a medir en un proceso, los instrumentos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura como lo son:

(Otero Ramos, s.f, capítulo VII, pg. 2)

- Variación de Fase de un fluido en un volumen constante.
- Variación de resistencia de un conductor.
- Generación de f.e.m. en la unión de dos metales.

- Variación de resistencia de un semiconductor.
- Intensidad de radiación emitida por un cuerpo

Los dispositivos electrónicos más comunes para medir temperatura son los siguientes.

Termopares: Los termopares generan un voltaje en relación a la temperatura que incide sobre ellos, están conformado por la unión de dos metales distintos que al detectar un cambio de temperatura (frio o caliente) en su unión, producen un voltaje directamente proporcional a la temperatura. Son fáciles de usar y muy comunes para la medición ya que solo se requieren de 2 cables, la señal de salida es un voltaje DC bajo, pero de respuesta rápida.

RTD (Detección de temperatura por resistencia): Estos sensores miden la temperatura mediante la correlación de la resistencia del elemento del RTD con la temperatura, entregando una respuesta lineal, aunque son más precisos que los termopares, su respuesta es más lenta, funcionan gracias a un pedazo de alambre bien enrollado con un núcleo de cerámica o vidrio alrededor. Los RTD tienen la ventaja de ser inmunes al ruido eléctrico y adecuado para medir la temperatura en ambientes industriales, por ejemplo, alrededor de motores, generadores y equipos de alta tensión.

Termistores: En general usan electrodos internos que detectan la temperatura y la representan a través de impulsos eléctricos, se les puede conseguir como NTC y PTC, los primeros ofrecen estabilidad mecánica, térmica y eléctrica con alta sensibilidad usados en cambios continuos de su resistencia interna, mientras que los segundos son útiles cuando se requiere de un cambio brusco en la resistencia a una temperatura determinada. (logicbus, s.f.)

Infrarrojo: Estos sensores miden la temperatura por infrarrojos, al ser instrumentos para medir temperatura sin necesidad de estar en contacto con el material que se desea medir su temperatura, son ideales a usar en ambientes donde existe riesgo para la salud humana, son bastantes precisos en sus mediciones.

La mayoría de los sensores de temperatura por lo general emiten magnitudes bajas o no son aptas para el procesamiento directo en el microprocesador, por lo que se requiere de un circuito de acondicionamiento y amplificación para dichas magnitudes, en la actualidad se consiguen algunos sensores de temperatura a un bajo costo listos para conectar a un microprocesador y usarlo mediante programación para realizar las respectivas mediciones, como ejemplo de ello el sensor LM35.

3.6.5.2. *Presión:*

En el libro Instrumentación Industrial se describe presión como

Es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmosferas, kilogramo por centímetro cuadrado y PSI. El pascal es 1 newton por metro cuadrado, siendo el newton la fuerza que aplica a un cuerpo de masa 1 Kg, le comunica una aceleración de 1 m/s^2 . (Creus Solé, 2010, p.91)

Los instrumentos de presión son clasificados en tres grupos, mecánicos, neumáticos y electromecánicos o electrónicos, se hará solo énfasis en estos últimos ya que son los que nos interesan para aplicar en el proyecto. Los medidores electromecánicos están conformados por

dos partes, una mecánica que detecta la magnitud física y transductor que convierte dicha magnitud en señales eléctricas directamente proporcionales a la magnitud que miden. La parte mecánica puede consistir en un tubo Bourdon, espiral, hélice, diafragma, fuelle o una combinación de los mismos que, a través de un sistema de palanca convierte la presión en una fuerza o en un desplazamiento mecánico. (Creus Solé, 2010), los elementos electromecánicos se clasifican según el principio de funcionamiento, tales como.

Transmisores electrónicos de equilibrio de fuerzas: Estos poseen un alto nivel en la señal de salida, pero son sensibles a vibraciones y su estabilidad en el tiempo es de media a pobre, su precisión esta entre 0,5% - 1% (Creus Solé, 2010)

Resistivos: Son de construcción simple y su señal de salida es tan potente que no requiere amplificación, sin embargo, son sensibles a vibraciones y presentan estabilidad pobre en tiempo son capaces de medir de 0-0,1 a 0-300 kg/cm² con una precisión de 1%-2% (Creus Solé, 2010)

Magnéticos: Se clasifican en dos, uno son los magnéticos de inductancia variable estos no producen rozamiento en la medición, tienen una respuesta lineal, son pequeños y construcción robusta, no precisan ajustes críticos su precisión es del orden de $\pm 1\%$; el otro son los de reluctancia variable, estos sensibles a la temperatura y a vibraciones, tienen estabilidad media en el tiempo y su precisión es del orden de $\pm 0,5\%$ (Creus Solé, 2010)

Capacitivos: estos son de pequeño tamaño, su construcción es robusta y tienen un pequeño desplazamiento volumétrico, son adecuados para medidas estáticas y dinámicas. su señal de

salida es débil, por lo que necesitan amplificadores, teniendo en cuenta de que se tiene el riesgo de introducir errores en la medición ya que son sensibles a las variaciones de temperatura y aceleraciones transversales. Su intervalo de medida está entre los 0,05-5 a 0,5-600 bar. con precisión de orden $\pm 0,2$ a $\pm 0,5\%$. (Creus Solé, 2010)

Extensométricos: Se pueden encontrar dos tipos de galgas, galgas cementadas y galga sin cementar, ambas funcionan en conjunto de un puente de Wheatstone, el intervalo de las no cementadas es de 0-0,6 a 0-10 000 bar y su precisión es de $\pm 0,5\%$ (Creus Solé, 2010)

Piezoeléctricos: Estos últimos soportan temperaturas del orden de 150 °C hasta los 230 °C son pequeños, robustos y ligeros, su señal de respuesta a una variación de presión es lineal y son adecuados para medidas dinámicas al ser capaces de respuestas frecuenciales de hasta un millón de ciclos por segundo sin embargo son sensibles a los cambios en la temperatura y requieren amplificadores para su señal eléctrica. (Creus Solé, 2010)

3.6.5.3. *Caudal:*

Este es uno de los sensores importantes a implementar en la planta, gracias a él podemos medir el caudal del agua en la salida y corroborar que sea el adecuado para cumplir con los requisitos de las máquinas de hemodiálisis; en conjunto con un actuador y el controlador, se podrá ajustar los valores hasta llegar a los deseados implementando un sistema de control.

El caudal se describe como la variable que relaciona el volumen en relación al tiempo (Caudal = Volumen/Tiempo), puede expresarse como Litros / segundo, Litros / minuto, entre otros. Como en una tubería puede transportarse un material con diferentes características bien sea

líquido, gaseoso o la combinación de ambos, se deben tener en cuenta algunas consideraciones para elegir un método adecuado para la medición de flujo; características del líquido como densidad podrían afectar las mediciones en algunos sensores. En base a las características del líquido, se determina un método ideal para la medición de caudal puesto que unos miden caudal volumétrico y otros caudales másicos.

Otero (s.f) en su libro instrumentación industrial en instalaciones petroleras describe varios métodos y variables que se aprovechan para medir el caudal entre ellos la presión diferencial, la velocidad, área variable, desplazamiento positivo, par giroscopio. Ya que se conoce el tipo de material a medir en el proyecto y sus características, se busca un método que sea de fácil aplicación y económico en lo posible pero fiable, de entre todos los métodos para medir caudal, se opta por estudiar los instrumentos que aprovechan la velocidad, como el medidor tipo turbina.

Medidor de Turbinas: El principio de los medidores de turbina está basado en el giro de un rotor causado por el paso de un fluido que interactúan con los alabes, aspas o hélices a una velocidad que es directamente proporcional la velocidad del flujo, conociendo esta velocidad y el área del tubo se puede hallar el caudal. (Creus Solé, 2010)

La forma en que estos medidores operan es bastante sencilla gracias a su diseño y construcción; la gran mayoría de estos medidores incorporan un dispositivo electromagnético colocado bien sea en las aspas o en la carcasa de la turbina, que es capaz de detectar la rotación de la turbina generando un pulso eléctrico directamente proporcional a la cantidad del fluido que pasa a través del rotor, mientras que la frecuencia de los pulsos es proporcional a la tasa de flujo, algunos de estos tipos de sensores funcionan bajo el principio del efecto hall. La precisión suele

ser muy elevada, del orden de $\pm 0,3\%$ ideal para la medición de caudales de líquidos limpios o filtrados. (Creus Solé, 2010)

Este tipo de sensores requieren de una ecuación con la que se pueda calibrar para determinar el coeficiente de flujo o factor K, que representa el número de pulsos generados por unidad de volumen del fluido. su exactitud, por lo tanto, es la exactitud del tren de pulsos y oscila entre $\pm 0,15\%$ y $\pm 1\%$ de la lectura. el factor K representa por la ecuación. (Amaya Isea & Goitia Parra, 1997, pg. 143)

$$K_{pul} = \frac{60f}{Q} \quad (3)$$

Donde:

f = Frecuencia o No. De pulsos por segundo

Q= Tasa de flujo o caudal

Kpul= Constante de pulsos

Sensores para medición de caudal como el YF-S201, FS300A y el FS400A son de tipo turbina y aplican el principio del efecto hall para su funcionamiento, en su construcción se les fija un imán al rotor que es detectado mediante un sensor hall ubicado al extremo de su carcasa teniendo la ventaja de aislar cualquier señal eléctrica del fluido, para realizar la medición de caudal se puede usar la ecuación anterior, sin embargo se tiene la ventaja que el fabricante suministra el valor de la constante, debido a que este valor depende de los parámetros constructivos del medidor,



Ilustración 19. Sensor de caudal.

Fuente: Tomada de https://www.webelectro.com.mx/wp-content/uploads/2017/04/sensor-flujo-agua-caudalimetro-1-30-ltmin-arduino-pic-D_NQ_NP_18077-MLM20149654193_082014-O.jpg

Ahora, si bien se desea una medición más precisa, se puede calibrar fácilmente este valor con un método experimental. La salida del sensor es una onda cuadrada cuya frecuencia es proporcional al caudal atravesado.

$$f(\text{Hz}) = K_{pul} * Q(l/\text{min}) \quad (4)$$

3.6.5.4. Conductividad:

El sensor de conductividad está dentro de los sensores electroquímicos y son clasificados según su forma de funcionar como potenciométricos (monitoreo del voltaje), amperométricos (monitoreo de la corriente) y conductimétricas (monitoreo de la conductividad o resistencia).

La conductividad eléctrica es el recíproco de la resistencia, su unidad de medida es el siemens y se define como “la capacidad de una solución acuosa para conducir una corriente eléctrica. el agua destilada pura no conduce en principio la corriente, pero, si se le disuelven sólidos

minerales aumenta su capacidad de conducción.” (Creus Solé, 2010, pg. 368), la conductividad en los líquidos se da cuándo los portadores de carga son iones desequilibrados eléctricamente y el grado de conductividad va a depender de la densidad de estos iones en la solución.

La forma más básica para medir conductividad en un medio líquido es insertando dos laminas metálicas (electrodos) en una configuración paralela separadas entre sí en la solución, ejecutando dos funciones, una es generando una tensión de excitación en la solución y la segunda es realizando la medición de la corriente eléctrica a través de la solución en función de su conductividad. Estas funciones limitan el rango de medida de 0-200 a 0-2000 siemens/cm con una exactitud del $\pm 1\%$ (Creus Solé, 2010, pg. 369), sin embargo, este tipo de medición se encuentra con el inconveniente de dar mediciones erróneas debido a la acumulación de suciedad en las láminas, otra limitación de este método depende del grado de acidez de la solución acuosa que se desea medir ya que dicha acidez podría deteriorar las láminas metálicas, por lo que en este caso se utilizan medidores inductivos.

La conductividad eléctrica está muy relacionada con la TDS (Total Solidos Disueltos en ingles Total Dissolved Solids) ya que cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será la conductividad eléctrica, esto se debe a que TDS es la suma de todos los minerales, metales y sales disueltos en el agua, la medición de TDS puede indicar la calidad del agua, la temperatura del agua es un factor que afecta a la conductividad eléctrica llegando a aumentar su valor de un 2 a 3% por grado Celsius. (lenntech, s.f.)

Si se quiere conocer la conductividad eléctrica usando un sensor TDS, se debe tener en cuenta la siguiente conversión.

$$+500 \text{ ppm} = 1000 \text{ mS/cm} = 1 \text{ EC} \quad (5)$$

Donde:

Ppm = partes por millón

Ec = conductividad eléctrica

3.6.6. Tarjetas de desarrollo:

Una tarjeta de desarrollo es un circuito impreso donde se pueden encontrar algunos componentes electrónicos, pero principalmente estas contienen un microprocesador o un microcontrolador, que dependiendo de las necesidades del proyecto donde se va a implementar se ha de elegir cual es el más adecuado. Con la creación de estas tarjetas se ha tenido un avance a nivel tecnológico permitiendo desarrollar muchos proyectos o sistemas embebidos que estén relacionados con la ingeniería o la tecnología, al ser muchas las aplicaciones y la gran demanda en los últimos años, se han desarrollado muchas variedades de tarjetas definidas para alguna finalidad como por ejemplo para el Internet de las cosas, la inteligencia artificial, robótica, entre otras. Es de mencionar que las tarjetas de desarrollo deben contener un algoritmo escrito con un lenguaje de programación para funcionar.

En el mercado se pueden conseguir tarjetas de desarrollo como Arduino UNO, Raspberry Pi Beaglebone, Up Square, entre otras, pero sin duda las más conocidas y usadas son las dos primeras.

Una consideración importante a tener en cuenta a la hora de elegir que tarjeta de desarrollo es más conveniente usar para un proyecto es conocer cuál es la complejidad de tal proyecto en materia de procesamiento de información, debido a las características físicas de la tarjeta, como por ejemplo para proyecto que requieren de recolección de datos, activación de alarmas o trabajar en tiempo real es útil usar Arduino, pero si se requieren tareas que requieren de un gran poder de

procesamiento es útil usar Raspberry Pi. El presente proyecto está mayormente orientado a un autómata programable, por lo que el uso de Arduino es ideal para cumplir con los objetivos de automatización presentes en la planta.

3.6.6.1. *Arduino*

Esta es una tarjeta de desarrollo bajo la Licencia Pública General de GNU (GPL) y la Licencia Pública General Reducida de GNU (LGPL), lo cual quiere decir que es de código y hardware abierto, tienen gran popularidad y aceptación por parte de desarrolladores por su económica, versatilidad y facilidad de uso. Arduino incorpora el microcontrolador ATMEGA, posee pines de entrada y salida tanto digitales como analógicos, es capaz de operar desde 5 voltios, su programación es fácil usando el software Arduino IDE proporcionado por su sitio web oficial, además de tener la opción de usar muchas librerías relacionadas con funciones que ahorra tiempo a la hora de programar.

Debido a la flexibilidad de Arduino y el acogimiento que ha tenido por parte de desarrolladores, se han desarrollado muchas variantes de placas con el propósito de usarlos en diferentes proyectos donde varíen sus características físicas, como el tamaño, el color, con características mejoradas. Cabe mencionar que la variación en sus características viene tomada de la mano con el precio final de la placa. Si bien esta flexibilidad tiene una ventaja notable y es que Arduino posee muchas placas llamadas Shields (Escudos) que agregadas a la tarjeta principal de Arduino son capaces de agregar nuevas características, como una comunicación inalámbrica, una pantalla LCD (puede ser táctil), un GPS, entre otras.

Versiones de Arduino: Las versiones de Arduino varían una de otras por el tamaño o por el hecho de incorporar o eliminar alguna característica, se presentan algunas versiones, esta información es tomada directamente de su sitio web oficial.

Arduino UNO



- Microcontrolador: ATmega328
- Voltaje de funcionamiento: 5 V
- Pines I/O digitales: 14 (de los cuales 6 proveen salida PWM)
- Pines de entradas analógicas: 6
- Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA
- Corriente DC en el pin de 3.3 V: 50 mA
- Memoria Flash: 32 KB (ATmega328) de los cuales 0.5 KB son utilizados por el bootloader
- SRAM: 2 KB (ATmega328)
- EEPROM: 1 KB (ATmega328)
- Velocidad de reloj: 16 MHz

Arduino Leonardo



- Microcontrolador: ATmega32u4
- Voltaje de funcionamiento: 5 V
- Pines I/O digitales: 20
- Canales PWM: 7
- Pines de entradas analógicas: 12
- Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA
- Corriente DC en el pin de 3.3 V: 50 mA
- Memoria Flash: 32 KB (ATmega32u4) de los cuales 4 KB son utilizados por el bootloader
- SRAM: 2 KB (ATmega32u4)
- EEPROM: 1 KB (ATmega32u4)
- Velocidad de reloj: 16 MHz

Arduino Mega 2560



- Microcontrolador: ATmega2560
- Voltaje de funcionamiento: 5 V
- Pines I/O digitales: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)
- Pines de entradas analógicas: 16
- Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA
- Corriente DC en el pin de 3.3 V: 50 mA
- Memoria Flash: 256 KB de los cuales 8 KB son utilizados por el bootloader
- SRAM: 8 KB (ATmega328)
- EEPROM: 4 KB (ATmega328)
- Velocidad del reloj: 16 MHz

Arduino Nano



- Microcontrolador: ATmega168
- Voltaje de funcionamiento: 5 V
- Pines I/O digitales: 14 (de los cuales 6 proveen salida PWM)
- Pines de entradas analógicas: 8
- Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA
- Memoria Flash: 16 KB de los cuales 2 KB son utilizados por el bootloader
- SRAM: 1 KB
- EEPROM: 512 bytes
- Velocidad de reloj: 16 MHz

Ilustración 20. Características versiones de Arduino (UNO, Mega 2560, Leonardo, Nano).

Fuente: Tomado de la página oficial www.arduino.cc/en/Main/Products

Arduino Due



- Microcontrolador: ATmega328
- Microcontrolador: AT91SAM3X8E
- Voltaje de funcionamiento: 3.3 V
- Pines I/O digitales: 54 (de los cuales 12 proveen salida PWM)
- Pines de entradas analógicas: 12
- Corriente DC total en todos los pines I/O: 130 mA
- Corriente DC en el pin de 5 V: 800 mA
- Corriente DC en el pin de 3.3 V: 800 mA
- Memoria Flash: 512 KB disponibles para las aplicaciones de usuario.

Arduino Yún



- Microcontrolador: ATmega32u4
- Microcontrolador AVR Arduino: ATmega32u4
- Voltaje de funcionamiento: 5 V
- Pines I/O digitales: 20
- Canales PWM: 7
- Pines de entradas analógicas: 12
- Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA
- Corriente DC en el pin de 3.3 V: 50 mA
- Memoria Flash: 32 KB (de los cuales 4 KB son utilizados por el bootloader)
- SRAM: 2.5 KB
- EEPROM: 1 KB
- Velocidad de reloj: 16 MHz
- Procesador Linux: Atheros AR9331
- Arquitectura: MIPS @400MHz
- Ethernet: IEEE 802.3 10/100Mbps
- WiFi: IEEE 802.11b/g/n
- USB Tipo A: 2.0
- Lector de tarjeta: sólo Micro-SD
- RAM: 64 MB DDR2

Arduino Micro



- Microcontrolador: ATmega2560
- Microcontrolador: ATmega32u4
- Voltaje de funcionamiento: 5 V
- Pines I/O digitales: 20
- Canales PWM: 7
- Pines de entradas analógicas: 12
- Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA
- Corriente DC en el pin de 3.3 V: 50 mA
- Memoria Flash: 32 KB (ATmega32u4) de los cuales 4 KB son utilizados por el bootloader
- SRAM: 2.5 KB (ATmega32u4)
- EEPROM: 1 KB (ATmega32u4)
- Velocidad de reloj: 16 MHz

Ilustración 21. Características versiones de Arduino (Due, Micro y Yún).

Fuente: Tomado de la página oficial www.arduino.cc/en/Main/Products

Una version de arduino mas potente que las anteriores hasta con un rendimiento de 100 veces mayor en comparacion a Arduino UNO es la tarjeta Arduino TRE, integrando un procesador Siara AM335X de 1GHz, lo cual hace que esta tarjeta pueda ser usada para proyectos mas avanzado como un sistema completo de automatizacion o llegando hasta a ejecutar aplicaciones de escritorio, sin embargo la placa aun no esta disponible en el mercado, pero la mencion de ella en este proyecto deja abierta la opcion a una mejora futura con este tipo de tarjetas.

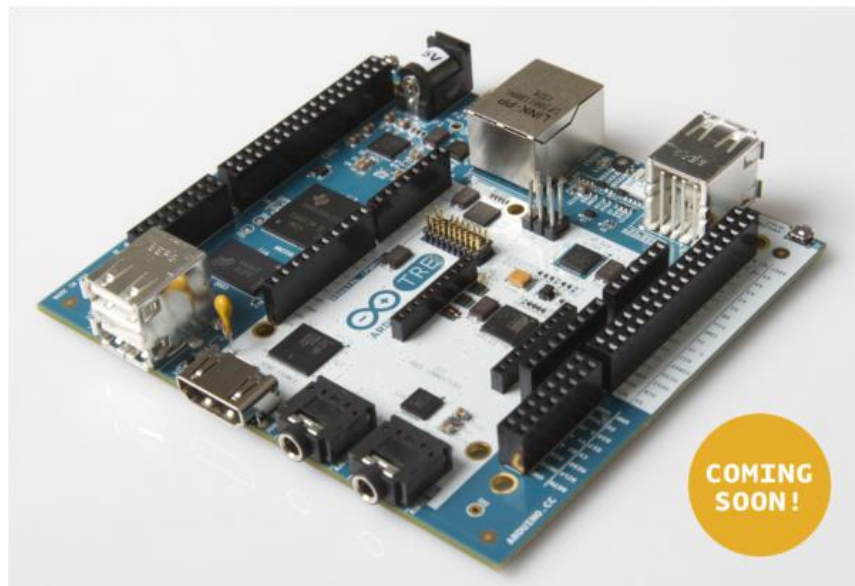


Ilustración 22. Tarjeta desarrollo Arduino TRE.

Fuente: Tomada de https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoTre_LandingPage.jpg

Las características de esta tarjeta son

- Microcontroller Atmel ATmega32u4
- Clock Speed 16 MHz
- Flash Memory 32 KB (ATmega32u4)
- SRAM 2.5 KB (ATmega32u4)

- EEPROM 1 KB (ATmega32u4)
- 14 Digital I/O Pins (5V logic)
- 7 PWM Channels (5V logic)
- 6 Analog Input Channels (plus 6 multiplexed on 6 digital pins)
- Processor Texas Instrument Sitara AM3359AZCZ100 (ARM Cortex-A8)
- Clock Speed 1 GHz
- SRAMDDR3L 512 MB RAM
- Networking Ethernet 10/100
- USB port 1 USB 2.0 device port, 4 USB 2.0 host ports
- Video HDMI (1920x1080)
- Audio HDMI, stereo analog audio input and output
- 23 Digital I/O Pins (3.3V logic)
- 4 PWM Channels (3.3V logic)
- MicroSD card
- Support LCD expansion connector

3.6.7. Human – Machine Interface (HMI):

En español Interface Hombre – Maquina es la forma en la que se pueden comunicar i/o interactuar los humanos con las maquinas mediante objetos o interfaces que proporcionen información sobre lo que está realizando o va a realizar dicha máquina, esta es una parte fundamental en toda máquina por lo que gran parte de la dependencia del funcionamiento de la maquina dependerá de que tan bien este diseñada la interface, por así decirlo, se puede tener un

gran proyecto pero de nada sirve si la interface es mediocre limitando la información suministrada y el control a la misma.

De lo anterior, se puede decir que una buena interfaz debe tener una presentación agradable, otorgando el máximo control e información posible al usuario, algunos aspectos a tener en cuenta para el diseño son los siguientes:

- Evitar sobrecargar la memoria del usuario, es decir que la maquina sea capaz de almacenar información y suministrarla al usuario en el momento que el desee conocerla y no mostrar toda la información de una sola vez.
- Mostrar información clara y concisa.
- Permitir detener cualquier proceso de una forma fácil, rápida y accesible.
- Una interfaz gráfica sencilla, esto implica que no se presente algunas de estas condiciones, muchos de objetos en interfaz, información desorganizada, colores que causen fatiga visual.

3.6.8. Fuente de alimentación:

Las instalaciones eléctricas domiciliarias o industriales, operan con corrientes alternas (que su polaridad varia en el tiempo) con una tensión igual o superior a los 110 voltios, esta condición no favorece a los componentes electrónicos, puesto que son diseñados para trabajar con corriente y tensiones una con magnitud y polaridad estable, a solución de ello se usan fuentes de alimentación que convierten el tipo de corriente y tensión alterna en uno estable ideal para el uso que se le quiera implementar.

La planta contendrá componentes como sensores, microprocesadores, actuadores, estos operan con voltajes bajos y corrientes directas o polarizadas, es por eso que se hace necesario

implementar una fuente de alimentación, para elegir una antes se deben realizar cálculos de consumo eléctrico de la planta y en base a ello elegir la ideal teniendo en cuenta la relación calidad/costo.

Existen dos tipos de fuentes de alimentación, la lineal y la conmutada, el escoger una en específico dependerá de las condiciones de diseño porque estas fuentes tienen ventajas y desventajas una de otras. esta planta se sugiere sea silenciosa y portátil, por tanto, el tipo fuente de energía más adecuada a usar son las conmutadas, están tienen las ventajas de ser muy livianas ya que eliminan el uso de grandes transformadores y son más económicas.

3.6.9. Bombas de agua

Es un sistema mecánico capaz de transferir energía a un fluido que este contenido o que circule a través de este sistema, esto es gracias al movimiento de sus partes, en otras palabras se produce una transformación de energía mecánica en hidráulica; las bombas de agua son usadas para enviar un líquido de un punto a otro en una instalación, también para aumentar la presión de un fluido, elevar la altura de un fluido, aumentar la velocidad del fluido y vencer la resistencia de fricción en una tubería. Una propiedad de las bombas es que normalmente se tiene un aumento considerable de presión a la salida de la bomba que está relacionada con el caudal del fluido que este transportando; se representa con forma de una curva característica propia de cada bomba, esta forma de la curva va a depender del principio de funcionamiento, del tamaño, la velocidad de accionamiento y también de algunas propiedades del fluido como puede ser la viscosidad o temperatura. (de las Heras Jiménez, 2011)

Son muchos los diseños de una bomba de agua que aprovechan dicho diseño para una finalidad otorgándole ventajas una sobre otras, pero sin embargo la gran mayoría están basadas

bajo estos dos tipos las rotodinámicas y las de desplazamiento positivo, conociendo lo que son capaces de realizar cada tipo, se puede elegir uno que más convenga para implementarla en la planta. De las Heras (2011) afirma:

Bombas rotodinámicas: Es una maquina generadora que comunica energía al fluido a su paso por uno o varios rodets, rotores o impulsores, incrementando su cantidad de movimiento, pero sin un cambio apreciable en su densidad, según la dirección del flujo en el rodete, estas bombas pueden clasificarse en centrifugas o radiales, axiales y de flujo mixto.

Bombas desplazamiento positivo: Las bombas volumétricas son ingenios mecánicos que transportan el fluido en forma de paquetes discretos que no interaccionan entre sí. Esta forma de impulsión tiene una serie de consecuencias bastantes evidentes: por un lado, interrumpe la vena fluida y, por tanto, la ecuación de la energía solo se puede aplicar si se realiza un promedio temporal de sus términos; pero, por otro lado, favorece el transporte de fluidos viscosos a alta presión y hace que su caudal sea casi independiente de la presión a unas revoluciones dadas. (p.122).

Así mismo, la siguiente tabla nos resume cada tipo de bomba. (de las Heras Jiménez, 2011)

Tabla 11

Comparativa entre las bombas rotodinámicas y bombas volumétricas.

Volumétricas	Rotodinámicas
La transferencia de energía es debida al desplazamiento del fluido a su paso por la máquina, acompañado normalmente de un proceso de compresión dentro o fuera de la misma.	La potencia hidráulica transmitida resulta de la variación del momento cinético que experimenta el fluido al atravesar el rodete de la máquina.

Los orificios de entrada y salida están

En las bombas de desplazamiento positivo, el fluido circula a través de la bomba en forma de paquetes discretos separados unos de otros. comunicados hidráulicamente por un canal abierto, de forma que el fluido puede recircular en el interior de la bomba y fluir a contracorriente.

Pueden trabajar contra válvula de impulsión

No pueden trabajar contra válvula de impulsión cerrada. Necesitan una válvula de seguridad que limite la presión máxima. cerrada pues la presión máxima está limitada por su principio de funcionamiento.

El caudal que impulsa la bomba depende de la presión de trabajo. Al cerrar la válvula de impulsión, la presión aumenta, el caudal efectivo se hace nulo y el líquido recircula por el interior de la máquina.

El caudal que impulsa la bomba es poco dependiente de la presión de trabajo, dentro de los límites de potencia del accionamiento conforme a las especificaciones de seguridad.

El caudal impulsado es proporcional a las revoluciones en sistemas hidráulicos de altura estática nula. En otros casos, existe una cierta proporcionalidad, pero no una relación lineal tan evidente como en las volumétricas.

El caudal de impulsión es proporcional a las revoluciones del accionamiento dentro del intervalo de velocidades facilitado por el fabricante.

Las bombas rotodinámicas utilizan uno o varios rodets para comunicar la energía al fluido. Por norma general, el rodete o los rodets son los únicos

Tienen diversos elementos móviles para transportar el fluido de la entrada a la salida e impedir su retroceso. Estos elementos pueden ser válvulas, ruedas dentadas, paletas, pistones, etc., según su principio de funcionamiento.	elementos móviles en el interior de la bomba (y el eje motor).
El caudal impulsado es pulsante, lo que genera importantes picos de presión en el sistema. La oscilación de la presión provoca vibraciones y ruidos, efectos que han de ser atenuados en lo posible.	El caudal se impulsa de forma continua. La aparición de pulsos de presión suele ser debida a la frecuencia de paso de los álabes del rodete (y son, en general, de pequeña magnitud) o a la generación de fenómenos transitorios en la instalación (oscilaciones de masa o golpes de ariete) durante la puesta en marcha o la detención del grupo impulsor.
Las bombas de desplazamiento positivo son auto aspirantes. No obstante, su capacidad de aspiración, definida en términos de la altura de aspiración o de la presión máxima a su entrada, depende del tipo de bomba.	Por norma general, son de capacidad de aspiración limitada, muy inferior a la de las bombas de desplazamiento positivo. Han de ser cebadas para que puedan impulsar caudal. No obstante, existen tipologías de bombas rotodinámicas autocebantes.

3.6.9.1. Criterios para la elección de una bomba.

Las bombas de agua se pueden agrupar dependiendo de varias características que facilitan al momento de elegir una para un proyecto dado, algunos aspectos a tener en cuenta son los siguientes.

- **Naturaleza del fluido a bombear:** Es de sumamente importancia conocer el tipo de fluido que se va a bombear ya que por sus características tales como viscosidad, densidad, presión de vapor, temperatura, agresividad química o corrosión, abrasividad o lubricación, contenido de sólidos en el fluido y gases disueltos repercuten mucho en el mecanismo de la bomba.
- **Condiciones de proceso:** Conocer el caudal requerido así mismo como las condiciones de succión y descarga.
- **Fuente de potencia:** La bomba necesita una fuente que será la encargada de dar la potencia al fluido, algunas fuentes son, motor eléctrico, motor a explosión, motor hidráulico y mecanismo de transmisión como cajas acopladoras o poleas.
- **Aspectos dimensionales:** Según su aplicación pueden conseguirse bombas que trabajen en cierta posición de montaje y a diferentes tamaños por lo que se debe tener en cuenta la limitación del espacio donde será instalada.

- **Condiciones ambientales:** saber si una bomba estará expuesta a la intemperie o en presencia de gases o vapores corrosivos repercutirá en el costo total de la bomba ya que agregar resistencia en su diseño aumentara el costo final y no es bueno gastar en una bomba de exterior si se va a usar en interiores.
- **Costos:** como todo proyecto, se debe buscar la economía sin dejar de segundo plano la calidad, es por eso que el costo dependerá del diseño de la bomba, su facilidad de instalación, su mantenimiento y servicio, disponibilidad de repuestos, consumo de energía con relación a la eficiencia.

3.6.10. Válvulas:

Son elementos finales de un sistema, existe una gran variedad de válvulas accionadas con potencial neumático, hidráulico o eléctrico, solo se va hacer énfasis a aquella que permitan ser accionadas mediante un potencial eléctrico permitiendo controlar el flujo del agua como la electroválvula o válvula de solenoide. Sin embargo, es importante tener algunas consideraciones al momento de elegir una válvula, estas son:

- | | |
|--|--|
| ▪ Datos de la aplicación. | ▪ Fase (gas, líquido). |
| ▪ Velocidad máxima y mínima del flujo. | ▪ Densidad (gravedad específica, peso específico, peso molecular). |
| ▪ Caída de presión. | ▪ Viscosidad (líquidos). |
| ▪ Temperatura del fluido. | ▪ Presión de vapor (gases). |
| ▪ Datos del fluido. | ▪ Influencia de la tubería. |
| ▪ Nombre del fluido. | |

- Presencia de reductores u otras conexiones roscadas se utilizan hasta las 2".
- El cuerpo y las conexiones a la tubería (bridadas o roscadas), las

Como se conoce el material a controlar se puede determinar que la válvula no debe estar regida a ciertos controles haciendo más fácil su elección.

3.6.10.1. *Electroválvulas*

Conocida también como válvula de solenoide, es un dispositivo electromecánico con la finalidad de controlar el paso de un fluido por una determinada tubería. Este dispositivo electromecánico está conformado por dos partes, una válvula (parte mecánica) que es movida mediante la conversión de energía eléctrica a mecánica causada por el solenoide (parte eléctrica).

La válvula de solenoide solo tiene dos estados, abierto o cerrado, todo o nada, el funcionamiento es descrito por (Creus Solé, 2010, pg. 430) de la siguiente forma “la válvula desde la posición cerrada a la abierta, es decir, en ausencia de alimentación eléctrica la válvula está cerrada mediante un muelle y, al excitar el solenoide, se abre (acción directa) por atracción del émbolo unido al obturador”, esta acción puede ser inversa es decir que las electroválvulas pueden ser tanto normalmente cerradas como normalmente abiertas, conservando una posición de seguridad ante un fallo eléctrico.

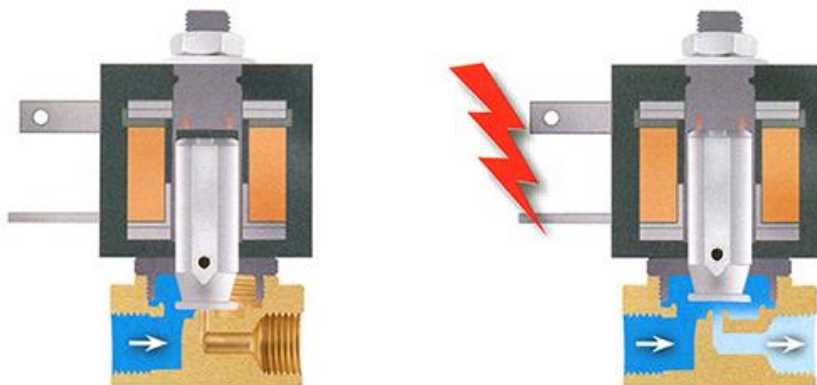


Ilustración 23. Esquema de una válvula de solenoide.

Fuente: Tomada de https://www.pasai.es/blog/wp-content/uploads/2014/01/electrovalvula_accionamiento_directo.jpg

Estas válvulas pueden ser de dos o tres vías, para el caso de tres vías, la válvula va a conmutar entre las salidas, suelen ser usadas en procesos donde se requieran realizar permutaciones entre dos líquidos, o también cuando se deseen mezclar dos líquidos.

3.7. Fase 7: Diseño esquemático

Con la finalidad de dar una representación gráfica de la planta, se procede a diseñar un diagrama esquemático evidenciando el proceso de tratado de agua con la ubicación detallada de todos los materiales a usar en la planta.

3.8. Fase 8: Selección de los componentes de la planta

Posterior al estudio sobre los componentes que realizaran cada tarea en el proceso de tratamiento del agua, como también la obtención de las magnitudes físicas y químicas, se realiza la selección de los instrumentos que mejor se condicionen con respecto al tamaño y el funcionamiento óptimo de la planta, es decir que cumplan con lo estimado acorde al menor tamaño.

3.9. Fase 9: Análisis y diseño mecánico de la planta

Esta fase aborda los cálculos pertinentes para el diseño mecánico de la planta, partiendo del cálculo de la membrana a usar y su configuración ya que esta planta utiliza uno de los mejores tratamientos para el filtrado de agua, la osmosis inversa que funciona gracias a una membrana especial de una porosidad microscópica, en la fase presente se realizan cálculos relacionados con las presiones presentes en la planta, estimación de eliminación de componentes químicos presentes en el agua, cálculos para el pre tratamiento y postratamiento del agua y cálculos que ayudan a la selección de la bomba a usar.

El tratamiento con osmosis inversa es delicado debido a sus membranas, ya que una alta contaminación en el agua podría dañar la membrana en poco tiempo, es por ello que el agua antes de ingresar a la osmosis inversa debe ser previamente tratada para eliminar la mayor cantidad de impurezas que afecten la membrana. Una vez obtenido el permeado, se realiza un último tratado de agua eliminando la dureza presente y además la eliminación de agentes usando radiación ultravioleta.

Para la selección de la bomba, se tendrá en cuenta varios modelos que se pueden hallar en el mercado internacional y realizando un análisis con la información suministrada por la ficha técnica de cada bomba, se llega a una conclusión basada en resultados obtenidos mediante un proceso teórico para determinar que bomba opera en mejores condiciones evitando el derroche de agua y alto consumo energético en relación a un trabajo eficiente y deseado.

3.10. Fase 10: Diseño electrónico de la planta

Una notable ventaja que tendrá esta planta es la incorporación de electrónica para realizar todos los procesos de monitoreo y control, es por ello que en esta fase se propondrá un esquema electrónico de los componentes a usar y sus conexiones,

3.11. Fase 11: Prototipado 3D

En esta fase se presenta un CAD (Computer-Aided Design – Diseño Asistido por Computadora) con el fin de suministrar al lector una representación visual del prototipo deseado, buscando una imagen mejor presentada de la localización de componentes en la máquina.

Capítulo IV: Diseño y resultados

4 Diseño y resultados

Este capítulo se abordara la temática relacionada con los cálculos y análisis pertinentes a todo lo relacionado con el diseño de la planta de tratamiento de agua portátil, partiendo de la presentación de un esquema general de que instrumentos conformaran el sistema con su respectiva descripción, la organización de los mismo fue gracias a los estudios realizados en la literatura por lo que la ubicación de cada componente fue basada en criterios de tratado de agua desde una previa a la membrana de osmosis inversa basada en filtración de sedimentos y eliminación de cloro hasta el posterior tratado con luz ultravioleta para garantizar la eliminación de todo agente microbiológico; los cálculos realizados en este capítulo son únicamente teóricos y son desarrollado bajo ecuaciones ya establecidas en la literatura universal, como por ejemplo, la ecuación de Bernoulli que describe el comportamiento de un fluido, esta es usada en este documento para conocer las presiones en ciertos puntos dentro de la planta, de igual modo se realizan procedimientos para evaluar si la membrana a usar es capaz filtrar los componentes no deseados presentes en el agua potable y suministrarnos un tipo de agua ideal para la creación de LD, por ultimo pero no menos importante a forma de adelantar hacia la etapa de implementación de la planta, se elabora un análisis y una propuesta de los componentes a usar y su configuración electrónica, presentado el esquema eléctrico general de las conexiones, un circuito acerca de la etapa de potencia y un modelo 3D básico.

4.1. Diseño esquemático

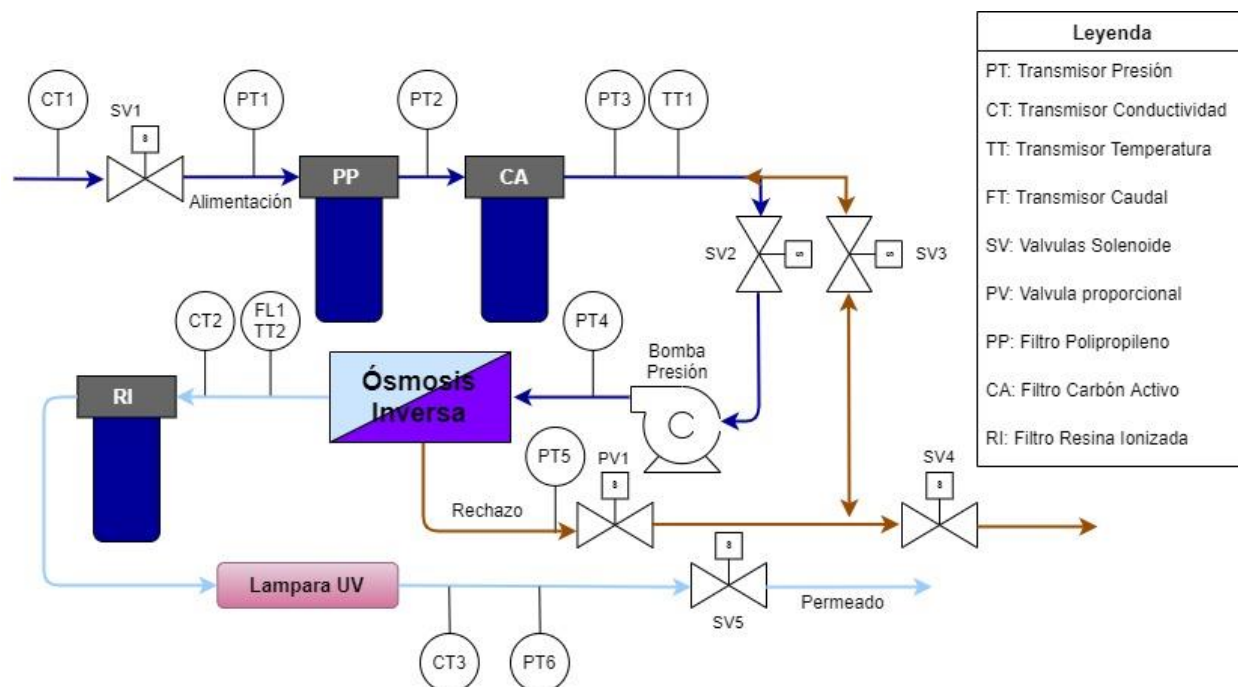


Ilustración 24. Diagrama esquemático de la planta tratamiento de agua portátil.

Fuente: Creación por el autor.

Función de los componentes:

SV: Simbolizan las válvulas de solenoides (ON – OFF) que permiten o niegan el flujo de agua por la planta, su configuración es la siguiente:

- SV1: Esta válvula (ON- OFF) normalmente cerrada y es quien permite o niega el ingreso del agua potable al sistema, su estado de reposo es OFF.
- La válvula SV2 Permite el flujo de agua a la bomba, su estado en reposo es normalmente abierta y se cerrara cuando se requiera hacer mantenimiento a o reemplazo a los filtros, este estado de reposo permite un ahorro de energía ya que es la condición por la que se estará usando por más tiempo.

- La válvula SV3, funciona en conjunto con SV2, su estado en reposo es normalmente cerrada, su utilidad en la planta es accionarse permitiendo el paso del flujo cuando se realice mantenimiento y/o reemplazo de los filtros, enviando el agua hacia el rechazo. La otra configuración de esta válvula es usada para permitir una recirculación del rechazo con la intención evitar el desperdicio de agua, para que esto sea posible se debe abrir SV3 y cerrar SV4 mientras se está operando la máquina para producir agua ultra pura, este proceso se realiza tiempo después de comenzar a producir un permeado y se detendrá cuando se estén incrementando los niveles de conductividad en el agua de permeado.
- Las válvulas SV4 y SV5 de estado en reposo normalmente abierto (con ausencia de tensión siempre estará abierta permitiendo el paso del fluido), son las encargadas de controlar la salida de los fluidos de permeado y rechazo respectivamente como se muestra en el esquema. Se ha decidido usar una válvula con estado de reposo normalmente abierto debido a que será la configuración en la que mayor tiempo estará trabajando, esto tiene la ventaja de generar un ahorro de energía debido a que no se usara tensión para accionarlas sino para cerrarlas.

CT: Simbolizan los sensores análogos TDS de conductividad, su ubicación en la planta presenta las siguientes funciones

- El sensor CT1, se utiliza para medir la conductividad del agua de alimentación, si no está dentro de los parámetros de configuración estipuladas que garanticen un agua permeada de calidad dentro de los márgenes admitidos para agua usada en liquido de diálisis, no se accionara la válvula SV1, la cual no permitirá el ingreso del agua a la planta, que

posterior generara una alarma indicando una conductividad muy alta, además el no permitir el ingreso de un agua con alta conductividad, va a aumentar el ciclo de vida de los filtros y las membranas.

- El sensor CT2, será usado para medir a conductividad en el agua de permeado, indicando si se encuentra dentro de los parámetros deseados, además este sensor servirá para la implementación de control.
- El sensor CT3, se encuentra ubicado después de la lámpara UV, esto es para garantizar la conductividad del agua ya que después de pasar por el filtro de resina la conductividad tiende a disminuir siendo un aspecto positivo para el permeado que se desea, si la diferencia de conductividad medida entre CT2 y CT3 es muy grande, se deberá cambiar la resina ionizada.

PT: Simbolizan los sensores de presión en la planta y son los más usados en la planta, la función que realizan cada uno se detalla a continuación.

- El sensor PT1 nos otorga información de la presión del agua de alimentación además en conjunto con PT2 nos puede informar acerca de la diferencia de presión existente en el filtro, esta diferencia es usada para determinar cuando el filtro este sucio o presente taponamiento causado por la sedimentación presente en el agua, la diferencia de presión depende de cada filtro y la información de esta es suministrada en su ficha técnica; el sensor PT3 en conjunto con PT2 cumplen la misma función que el conjunto PT1 – PT2, en este caso servirá para monitorear el filtro de carbón activado.

- El sensor PT4 servirá para monitorear la presión del agua antes de ingresar a la membrana de osmosis inversa, dicho sensor también será de utilidad para el sistema de control.
- El sensor PT5 nos otorga información acerca de la presión del agua en el rechazo, debe ir localizado justo antes de la válvula de control, los valores que otorgue el sensor deben ser similares a PT4.
- El sensor PT6 se ubica al final de la planta, nos suministra información acerca de las presiones de salida donde lo ideal es que se tengan unos valores de entre 20 – 60 psi.

TT: Los sensores de temperatura solo suministran información térmica del agua, la temperatura antes de la membrana otorga información que sirve para determinar la eficacia de la membrana.

FT: Representa el sensor de caudal o flujo, es usado para conocer la cantidad de caudal del líquido permeado, este sensor es necesario para el sistema de control con el que se establecerá la cantidad de permeado que se requiera a voluntad.

PV: Esta es una válvula proporcional que aumenta o disminuye la presión de rechazo, la variación de apertura de la válvula es usada para controlar el caudal y conductividad de

permeado, además ayuda a ahorrar agua evitando el derroche y sobre todo permite el efecto de la osmosis inversa en la membrana.

4.2. Selección de los componentes para la planta.

Todos los componentes de la planta se pueden elegir antes para su diseño en base a los parámetros que se necesitan obtener y con ello poder realizar la gran mayoría de los cálculos, el único componente que no se va a elegir es la bomba, ya que se necesitan una serie de cálculos para determinar la que mejor se adapte a la planta.

4.2.1. Manguera a usar

Las mangueras a usar deben ser de 3/8" y 1/4" en polietileno, se opta por usar la marca Hydrofit, esta cumple con NSF bajo la Norma NSF/ANSI 61, según el fabricante el diámetro interno de la manguera de 3/8" es 0,250", mientras que la de 1/4" es 0,160"



Ilustración 25. Manguera Hydrofit.

Fuente: Tomada de <https://www.carbotecnia.info/wp-content/uploads/2017/03/hydrofit-pt04.jpg>

4.2.2. Filtros a usar

Estos filtros se encargarán del pre y pos tratamiento del agua ante la membrana de osmosis inversa, las mediciones físicas de los filtros de sedimentación y carbón activo son de 2,5" de

diámetro por 20" de longitud de la marca Hydronix, para la resina ionizada se estimará la cantidad basado en caculos en apartados posteriores.

- El filtro de sedimentación es el modelo SDC-25-2005 fabricado en polipropileno tiene una porosidad de 5 μm con una diferencia de presión de 0,4 PSI a 10 GPM, su rango de operación para temperaturas esta entre 4,4 °C a 62,8 °C
- El filtro de carbón activo es el modelo CB – 25 – 2005 tiene una porosidad de 5 μm con una diferencia de presión de 2 PSI a 2 GPM, su rango de operación para temperaturas esta entre 4,4 °C a 82,2 °C, es capaz de purificar 9000 a 2 GPM

4.2.3. Portafiltros a usar

Los porta filtros usados para esa planta deben ser lo suficientemente grandes para tratar una cantidad de agua sin que excedan el tamaño deseado para considerarla portátil y que además puedan albergar los filtros de un tamaño que no necesiten remplazo a corto plazo, para ello se tiene pensado usar porta filtros de la marca PURIKOR, exactamente del modelo PKPFA20X.75P el cual cuenta con un flujo máximo de 6 GPM, utiliza cartuchos de dimensiones 2,5" de diámetro por 20" de altura, con conexiones NPT de entrada y salida 3/4" y sistema de purgado, las dimensiones físicas del porta filtro es 128 mm de diámetro por una altura de 570 mm. Este portafiltro será usado para los filtros de sedimentación, carbón activo y resina ionizada.



Ilustración 26. Portafiltros.

Fuente: Tomado de la ficha técnica de portafiltros PURIKOR

4.2.4. Niples a usar

El portafiltro tiene una conexión NPT de 3/4", mientras que los accesorios y mangueras de la maquina trabajan con diámetros de 3/8" y 1/4", para realizar las conexiones se usan niples que conviertan tales dimensiones, con un conector macho (M) NPT de 3/4" a conectores hembra (F) NPT de 3/8" y 1/4" respectivamente, se provee usar un componente de material latón.



Ilustración 27. Niple en latón.

Fuente: Tomado de https://media.rs-online.com/t_large/F2314890-01.jpg

4.2.5. Accesorios a usar

Dentro de los accesorios para las tuberías se van a clasificar codos, Tee y conectores rápidos de dimensiones 3/8" y 1/4", en la siguiente tabla de enfoca el componente y la cantidad necesitada.

Tabla 12.*Tipo y cantidad de accesorios a usar.*




Componente	Cantidad
 <p>Ilustración 28. Codo macho – OD conexión rápida. Fuente: Tomada de https://i3.wp.com/ae01.alicdn.com/kf/HTB1RBMKtyCYBuNkHFCcq6AHtVXax.jpg</p>	<p>3 de (3/8" NPT – 3/8" OD)</p> <p>4 de (1/4" NPT – 1/4" OD)</p>
 <p>Ilustración 29. Codo 1/4" OD conexión rápida. Fuente: Tomada de https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1Vg4USpXXXXcPXFXXq6xXFXXX3/1-4-1-2-1-8-3-8-acoplamientos-de-ajuste-de-empuje-codo-reductor-Tee.jpg_q50.jpg</p>	4
 <p>Ilustración 30. Conector rosca NPT macho – OD conexión rápida. Fuente: Tomada de https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1cn9MaL5G3KVjSZPxq6zI3XXaM/3-8-NPT-rosca-macho-accesorios-de-conector-r-pido-recto-a-1-4-OD-conexi.jpg</p>	<p>3 de (3/8" NPT – 3/8" OD)</p> <p>4 de (1/4" NPT – 1/4" OD)</p>



Ilustración 31. Tee OD – BSP macho – OD.
Fuente: Tomada de
<https://www.filtrashop.com/wp-content/uploads/2019/03/conexion-rapida-hydrofit-tee-union-rosca-base.png>

2 de (3/8" OD – 1/4" BSP macho – 3/8" OD)

2 de (1/4" OD – 1/4" BSP macho – 1/4" OD)



Ilustración 32. Tee OD – NPT hembra – OD.
Fuente: Tomada de
<https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1nM9SCmtYBeNjSspaq6yOOFXah/3-v-as-hembra-Push-In-para-conectar-el-tubo-est-ndar-Imperial-brit-nico-OD.jpg>

3 de (3/8" OD – 1/4" NPT hembra – 3/8" OD)

1 de (3/8" OD – 1/2" NPT hembra – 3/8" OD)

2 de (1/4" OD – 1/4" NPT hembra – 1/4" OD)



Ilustración 33. Tee OD conexión rápida.
Fuente: Tomada de
<https://i.ebayimg.com/images/g/6S4AAOSwVpRbNKdD/s-l300.jpg>

1 de (3/8" OD – 1/4" OD – 3/8" OD)

1 de (1/4" OD – 1/4" OD – 1/4" OD)

4.2.6. Actuadores a usar

Los actuadores usados en la planta son varias válvulas electrónicas o válvulas de solenoide, una válvula eléctrica proporcional y una bomba, la elección de esta última se dejara para apartados posteriores; en primicia, se busca instrumentos que operen con voltajes bajos por motivos de seguridad bien sea de 12 VDC hasta los 24 VDC, se requieren 2 válvulas de solenoide con conectores rápido de 3/8" OD y 3 de conectores rápidos 1/4" OD, las

configuraciones de reposo para SV1 y SV3 es normalmente cerrada, y para SV2, SV4 y SV5 es normalmente abierta, en caso de no conseguir válvulas de solenoide con configuración en reposo normalmente abierta, se optaran por usar todas normalmente cerradas.



Ilustración 34. Válvula solenoide.

Fuente: Tomada de https://http2.mlstatic.com/digiten-12v-3-8-valvula-solenoide-de-agua-de-alimentacion-D_NQ_NP_832106-MLM40296588646_012020-O.jpg

4.2.7. Membrana Osmosis Inversa a usar

La membrana es la encargada de realizar el tratamiento principal del agua otorgándonos un permeado con características ideales para el propósito de esta planta, al momento de elegirla se tiene en cuenta el tamaño y la cantidad de permeado que pueda producir. Se ha optado por elegir la empresa Filmtec la cual diseña membranas económicas, de buena calidad, diversos tamaños y además comunes en el mercado nacional. De su catálogo, se ha elegido una membrana capaz de producir el caudal requerido para cumplir con el objetivo de este proyecto, dicha membrana es la Filmtec TW30-3012-500 (véase anexo D), esta tiene la ventaja de ser pequeña con unas dimensiones de 74,9 mm de diámetro y una longitud de 298 mm, y además puede producir 500 GPD, un poco más del caudal máximo que necesitamos para este proyecto, tiene la característica de rechazar un 98% de las sales y soporta una presión máxima de 150 PSI.



Ilustración 35. Membrana OI TW30-3012-500.

Fuente: Tomada de https://www.filterwater.com/images/product/medium/839_2_.jpg

4.2.8. Portamembrana a usar

El portamembrana es el dispositivo que almacenara la membrana de osmosis a usar, es de tener en cuenta que existen diferentes tamaños y materiales en los que se fabrica, no obstante, como ya se conoce el tipo de membrana con sus dimensiones y las dimensiones de las mangueras, se filtra la búsqueda a pocos modelos. La usada tiene conectores de entrada 3/8" y de salida 1/4".



Ilustración 36. Porta membrana OI.

Fuente: Tomada de <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/4119BSY1AqL.jpg>

4.2.9. Sensores a usar

Al igual que los actuadores, se busca sensores de bajo consumo energético y que operen con bajos voltajes que sea capaces de medir presión, temperatura, conductividad y flujo o el conjunto de varias magnitudes, los elegidos para esta planta son los siguientes

- **Sensor de presión:** De la marca EARUELETRIC, se elige un sensor con muy buenas prestaciones para la planta, de pequeño tamaño y operando con 5 VDC con una corriente de 10 mA, otorga medidas que están comprendida de 0 a 1,2 MPa además el fabricante puede diseñarlos según los requisitos del cliente, tiene voltajes de salida en el rango de 0,5 a 4,5 VDC, es robusto ya que puede trabajar con temperaturas entre -40 °C hasta 125 °C. Su conexión a la planta es fácil ya que tiene un conector roscado macho de 1/4", su conexión eléctrica también es fácil ya que solo cuenta con 3 cables, alimentación, tierra o masa y señal.



Ilustración 37. Sensor de presión de la marca EARUELETRIC.

Fuente: Tomada de https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1pM_oXMKG3KVjSZFLq6yMvXXaE/DC5V-G1-4-Sensor-de-presi-n-transmisor-transductor-de-presi-n-1-2-MPa-174.jpg

- **Sensor de temperatura:** Se usa el DS18B20 Sensor de temperatura Digital capaz de medir rangos entre los -55 °C hasta los 125 °C, posee una carcasa de acero inoxidable SUS304 con longitudes de 30 mm/50 mm/100 mm/150 mm (rosca incluida) y un diámetro de 7 mm, su rosca es de 1/2" BSP, se alimenta con 3 a 5 VDC, se dispone de 3 cables, alimentación, tierra y señal.

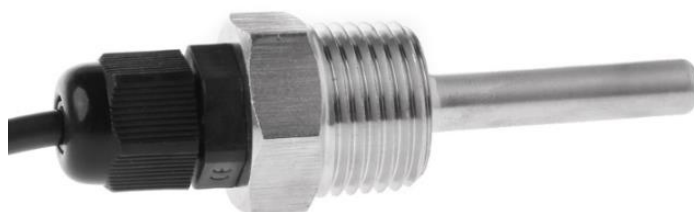


Ilustración 38. Sensor de temperatura DS18B20 con carcasa de acero inoxidable.

Fuente: Tomada de <https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1eVdsKmzqK1RjSZFLq6An2XXa9/DS18B20-Sensor-de-temperatura-Digital-G1-2-sonda-de-rosca-di-metro-7mm-1m-PVC-Cable.jpg>

- **Sensor de flujo:** El sensor de flujo a usar es de la marca LOUCHEN ZM el modelo DWS-MH-01, opera con 5 a 24 VDC con una corriente máxima de 15 mA (5 VDC), su rango de medida es de 18 – 600 l/h, su frecuencia de pulso de halla con la siguiente ecuación $F(\text{Hz}) = (24 * Q) \text{ l/min } \pm 2\%$, soporta presiones comprendidas entre 0,1 – 0,8

MPa, además cuenta con un sensor de temperatura que mide rangos de los $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ con una precisión del $\pm 2\%$. Su conexión a tubería es de acople rápido y conexión eléctrica solo es de 3 cables para el sensor de caudal que usa un sensor efecto hall y dos cables para el sensor de temperatura siendo un NTC $50\text{ K}\Omega$.



Ilustración 39. Sensor de caudal DWS-MH-01.

Fuente: Tomada de <https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1JSDDpoR1BeNjy0Fmq6z0wVXaC/2018-nuevo-medidor-de-sensor-de-flujo-hall-de-Medici-n-de-conductividad-de-agua-TDS.jpg>

Existe una versión de este sensor que incorpora un medidor de conductividad, no se decide a usarlo ya que no es posible realizar mantenimiento a este medidor de conductividad, por tanto, hace que toda la pieza quede obsoleta en caso de que el sensor de conductividad falle, no obstante, no se tiene en cuenta esta observación para el sensor de temperatura ya que es más rustico en comparación al sensor de conductividad.

- **Sensor de conductividad:** Mide los TDS presentes en el agua, es plug and play (enchufar, conectar y usar) y fácil de usar, opera con una alimentación de 3,3 a 5,5 VDC con una corriente de 3 a 6 mA y entrega una se señal analógica de 0 – 2,3 V, la sonda TDS que incorpora el sensor es impermeable lo que permite ingresarla en agua durante

largos períodos de tiempo, su rango de medida está comprendida entre los 0 – 1000ppm con una precisión de $\pm 10\%$ F.S. (25 °C), su módulo de interfaz es el XH2.54-3P y usa una sonda XH2.54-2P

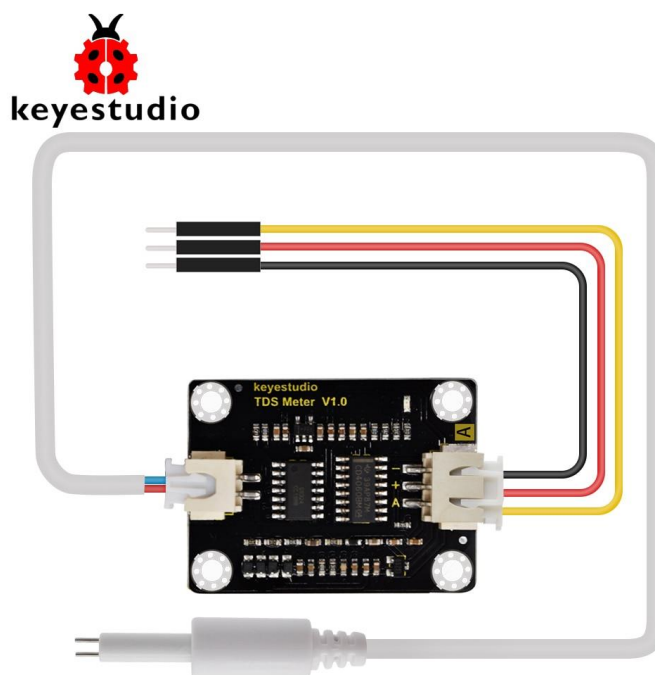


Ilustración 40. Sensor de TDS con módulo XH2.54-3P.

Fuente: Tomada de <https://ae01.alicdn.com/kf/H6a10c8e55a1d486386e97c856b18be7dV/Medidor-keyestudio-TDS-V1-0-M-dulo-de-placa-Filtro-de-medidor-de-agua-Medici-n.jpg>

4.2.10. Lámpara UV

La lámpara UV estará ubicada después de la membrana de osmosis inversa por lo que no es mucho el caudal que se deba tratar con UV, es por ello que se usa una que pequeña y pueda manejar un caudal superior al permeado, el modelo UVA – 1C de Polaris scientific UV es ideal para esta planta, puede tratar 1 GPM, el permeado de la maquina es mucho inferior a ello, su lámpara tiene una potencia de 10 W, con una vida nominal de 9000 horas, construido en acero inoxidable SAE 304 con unas dimensiones de 2” de diámetro por una longitud de 10,47”, soporta una presión de 125 PSI, la longitud de onda generada por la lámpara es de 254 nm con una

energía de 30 mJ/cm^2 siendo ideal ya que las bacterias y microorganismos son erradicados con menos de 10 mJ/cm^2 según su ficha técnica.



Ilustración 41. Lámpara UV dentro de su contenedor en acero inoxidable.

Fuente: Tomada de la ficha técnica Polaris scientific

4.3. Análisis y diseño mecánico

Los siguientes cálculos son basados en el proyecto de Rivas (2019), se van a incorporar componentes de más y hacer un redimensionamiento de la planta.

4.3.1. La membrana TW30-3012-500

El líquido de diálisis requiere un agua con una baja tasa de contaminantes químicos para evitar afectar la salud del paciente, así mismo los monitores de hemodiálisis requieren de un agua con ciertas características físicas para realizar sus funciones y evitar el deterioro interno de sus partes, la elección de la membrana dependerá entonces de la cantidad de contaminantes que pueda eliminar, también del caudal que produzca como permeado y en nuestro caso que la membrana sea del menor tamaño físico posible.

Se necesita una membrana que nos permita producir un máximo de 1200 ml/min lo que es igual a 72 l/h de agua ultra pura; agregaremos un factor de seguridad por lo que se van a producir 74 l/h , de aquí en adelante los cálculos se usaran con este valor. Como se mencionó, se opta por

usar la membrana de TW30-3012-500 de Filmtec, haciendo revisión a la ficha técnica (véase anexo D) podemos extraer algunas características que son útiles para nuestros cálculos.

DOW FILMTEC™ Element	Applied Pressure		Permeate Flow Rate		Typical Stabilized Salt Rejection (%)
	(psig)	(bar)	(GPD)	(L/m)	
TW30-3012-500	70	4.8	500	1.3	98

1. Permeate flow and salt rejection based on the following test conditions: 250 ppm NaCl, 77°F (25°C), pH 8.0, 40% recovery and the specified applied pressure.
2. Minimum salt rejection is 96.0%.
3. Permeate flows for individual elements may vary +25/-15%

Ilustración 42. Características membrana TW30-3012-500.

Fuente: Tomada de la ficha técnica de la membrana Tw30-3012-500

Lo primero que necesitamos conocer es la presión neta (P_{NETA}) para producir el caudal deseado, para hallarla usamos la ecuación 6

$$Q_p = A k_w * P_{NETA} \quad (6)$$

La ficha técnica no nos proporciona los valores de A y K_w , Rivas (2019), asegura:

Al usar nosotros la misma membrana, el valor del área superficial se mantiene constante.

Del mismo modo, el coeficiente de transferencia de masa del solvente k_w se puede considerar no variará para nuestras condiciones de operación, pues usaremos la misma membrana, con condiciones de agua de alimentación similares.

Por lo que se tiene que hallar un estimado de esos valores, si vemos la ecuación 6 relaciona caudal con presión. La ficha técnica de la membrana ofrece una gráfica que relación presión con caudal donde podemos extraer algunos datos.

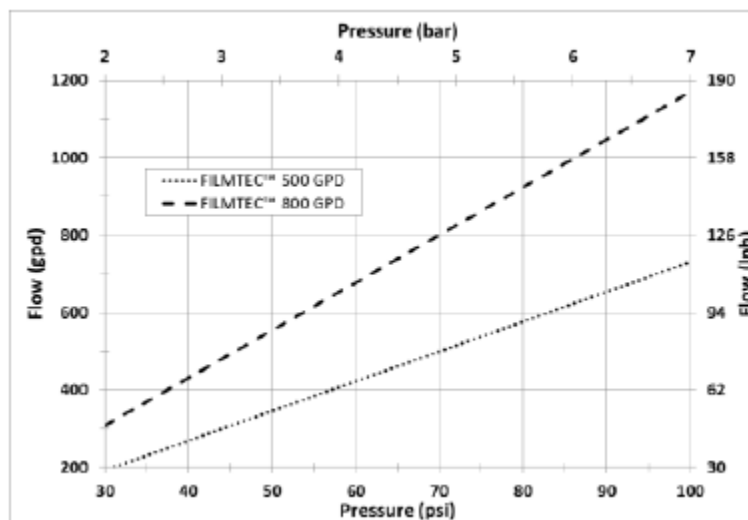


Ilustración 43. Grafica relación Presión - Caudal de la membrana Tw30-3012-500.

Fuente: Tomada de la ficha técnica de la membrana Tw30-3012-500

Se puede apreciar de la grafica anterior una funcion lineal, hallandola quedaria de la forma

$$y = 8x - 60$$

Siendo x el valor de la presión, El problema es que, al usar una presión de 0, nuestro caudal tomaría un valor de -60 GPD, un tanto ilógico ya que, al no tener presión, no se debería tener caudal, es por ello que se realiza una aproximación de la función que satisfaga la ecuación 6 tomando desde partida un caudal de 0 con una presión de 0, se gráfica y se halla la ecuación.

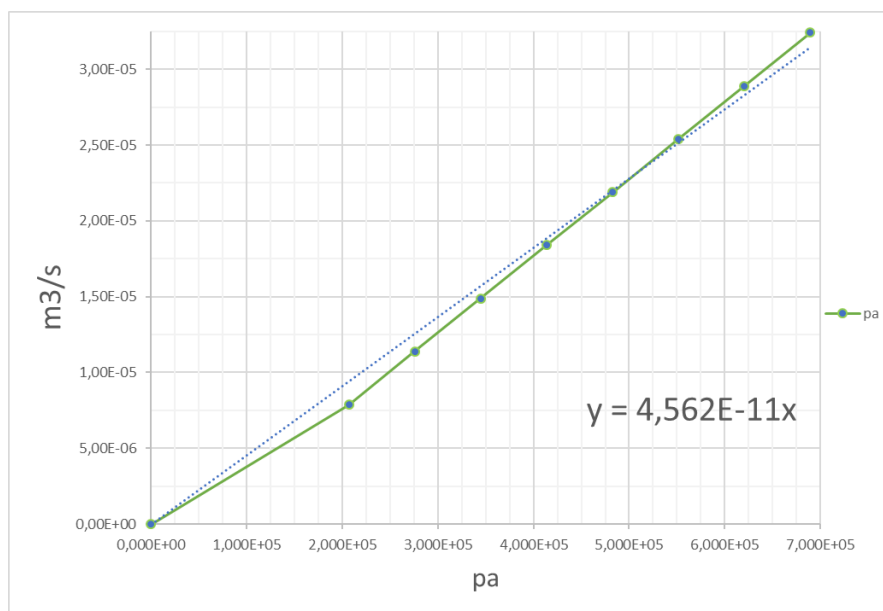


Ilustración 44. Grafica de relación caudal – presión membrana TW30-3012-500, con origen en 0.
Fuente: Creación por el autor.

La grafica anterior nos demuestra que el valor estimado de AK_w sería de $4,562 \times 10^{-11}$, este valor lo vamos a reemplazar en la ecuación 6 para comprar los resultados con los ofrecidos en la tabla de la ficha técnica

Tabla 13

Caudal producido en relación a la presión en la membrana TW30--3012-500.

PresionNeta		Caudal permeado			
psi	pa	GPD	l/h	m ³ /s	m ³ /s
0	0	0	0	0	0
30	2,07E+05	180	28,391	7,886,E-06	9,44E-06
40	2,76E+05	260	41,009	1,139,E-05	1,26E-05
50	3,45E+05	340	53,627	1,490,E-05	1,57E-05

60	4,14E+05	420	66,245	1,840,E-05	1,89E-05
70	4,83E+05	500	78,863	2,191,E-05	2,20E-05
80	5,52E+05	580	91,481	2,541,E-05	2,52E-05
90	6,21E+05	660	104,099	2,891,E-05	2,83E-05
100	6,89E+05	740	116,717	3,242,E-05	3,15E-05

Nota. La ultima columna es el resultado de multiplicar el caudal en pascales por AKw.

Como se observa, la diferencia es casi despreciable, por lo que procederemos entonces a hallar nuestra presión neta para el caudal requerido.

Un caudal de 74 l/h en m³/s es aproximado a 2.0556x10⁻⁵, remplazando en la ecuación y despejando, halamos la presión neta

$$Q_p = Ak_w * P_{NETA}$$

$$P_{NETA} = \frac{Q_p}{Ak_w}$$

$$P_{NETA} = \frac{2,0556 \times 10^{-5}}{4,562 \times 10^{-11}} = 4,5059 \times 10^5$$

Por tanto, nuestra presión neta para un caudal de 74L/h es de 4,5059x10⁵ pascales o 65,35 psi, es imperativo pensar que la presión de la red no llega a la presión neta que necesita la membrana, es aquí cuando se decide adicionarle una bomba para aumentar la presión, además Rivas (2019) establece “es ideal tener una presión mayor para aumentar la recuperación de la membrana, lo cual aumenta el porcentaje del agua de la red que se convierte en agua ultra pura, reduciendo el desperdicio de agua potable”

4.3.2. Cálculo concentración en el permeado

El siguiente análisis se realiza con la finalidad de conocer la concentración de componentes en el permeado, con ello también se podrá conocer la presión osmótica de permeado, la ficha técnica de la membrana TW30-3012-500 establece que el rechazo es del 98%, al reemplazarlo en la ecuación 7, obtenemos la ecuación para hallar el concentrado de permeado, donde C_a es la concentración de alimentación, es decir del agua potable, usaremos los valores máximos permitidos en las resoluciones colombianas con el fin de obtener resultados con el mayor índice de contaminación en el agua y obtener unos resultados confiables. Si se quiere conocer la concentración de rechazo, esta es la diferencia entre la concentración de alimentación con la concentración de permeado.

$$C_p = 0.02C_a \quad (7)$$

Tabla 14

Concentraciones de alimentación, permeado y rechazo.

Compuesto	Simbolo	Ca (mg/l)	Cp (mg/l)	Cr=Ca-Cp (mg/l)
Arsenico	As	0,05	0,001	0,049
Aluminio	Al	0,2	0,004	0,196
Antimonio	Sb	0,02	0,0004	0,0196
Bario	Ba	1	0,02	0,98
Cadmio	Cd	0,005	0,0001	0,0049
Calcio	Ca	60	1,2	58,8
Cianuro	CN	0,1	0,002	0,098

Zinc	Zn	5	0,1	4,9
Cloruros	Cl-	250	5	245
Cobre	C	1	0,02	0,98
Cromo hexavalente	Cr+6	0,05	0,001	0,049
Dureza total	CaCO ₃	300	6	294
Hierro total	Fe	0,03	0,0006	0,0294
Fluoruros	F-	1	0,02	0,98
Magnesio	Mg	36	0,72	35,28
Manganeso	Mn	0,1	0,002	0,098
Mercurio	Hg	0,001	0,00002	0,00098
Nitratos	NO ₃	15	0,3	14,7
Nitritos	NO ₂	0,1	0,002	0,098
Plomo	Pb	0,01	0,0002	0,0098
Plata	Ag	0,05	0,001	0,049
Selenio	Se	0,01	0,0002	0,0098
Sulfatos	SO ₄	250	5	245
Sodio	Na	200	4	196
Total		1119,726	22,39452	1097,33148

Ahora realizaremos una comparación de los resultados obtenidos en la tabla anterior con los valores de los componentes químicos que exigen las normas internacionales con el fin de comprobar que los valores de permeado están dentro de los valores máximos permitidos para el agua usada en la fabricación del líquido de diálisis.

Tabla 15*Comparativa valores permeado de la membrana y las normas internacionales.*

Compuesto	Símbolo	Permeado (mg/l)	UNE 111 301- 90	ISO- 13959:2014
Arsénico	As	0,001	0,005	0,005
Aluminio	Al	0,004	0,01	0,01
Antimonio	Sb	0,0004		0,006
Bario	Ba	0,02	0,1	0,1
Cadmio	Cd	0,0001	0,001	0,001
Calcio	Ca	1,2	2	2
Zinc	Zn	0,1	0,1	0,1
Cobre	C	0,02	0,1	0,1
Cromo hexavalente	Cr+6	0,001	0,014	0,014
Fluoruros	F-	0,02	0,2	0,2
Magnesio	Mg	0,72	4	4
Mercurio	Hg	0,00002	0,0002	0,0002
Nitratos	NO3	0,3	2	2
Plomo	Pb	0,0002	0,005	0,005
Plata	Ag	0,001	0,005	0,005
Selenio	Se	0,0002	0,09	0,09
Sulfatos	SO4	5	100	100
Sodio	Na	4	70	70

La tabla anterior nos confirma que la membrana es capaz de brindarnos un líquido con las características químicas deseadas, de hecho, con valores muy inferiores de los máximos permitidos por las normativas.

4.3.3. Cálculos de presiones

Los cálculos de las presiones nos otorgan más información de lo que ocurre en la planta para así tener un estimado en las mediciones que realizarán los instrumentos, estos cálculos además servirán para la elegir la bomba que suministrara la presión a la membrana de osmosis basándose en su presión neta de funcionamiento.

Se parte primero de la ecuación de presión neta de osmosis inversa

$$\Delta P_{NETA} = \Delta P - \Delta \pi \quad (8)$$

Donde ΔP es el gradiente de presión en la membrana, como se usa una membrana de tamaño similar a la usada por (Rivas Nieto, 2019), se asume que

$$\Delta P = P_a - P_p \quad (9)$$

Reemplazando en la ecuación 8 anterior, tenemos que

$$\Delta P_{NETA} = P_a - P_p - \Delta \pi \quad (10)$$

Por otra parte, $\Delta \pi$ representa el gradiente de presión osmótica en la membrana, y se puede hallar con la siguiente ecuación

$$\Delta\pi = \left(\frac{\pi_a - \pi_r}{2} \right) - \pi_p \quad (11)$$

Se deben conocer los gradientes de presión para alimentación (π_a), permeado (π_p) y rechazo (π_r), una vez hallado se remplazan en la ecuación anterior; la forma de hallar estos valores es usando la ecuación de presión osmótica en una solución aplicada en los concentrados de permeado y alimentación.

$$\pi_{solucion} = \sum_i^n \phi_i M_i RT \quad (12)$$

Se conocen algunos valores basados en las condiciones de trabajos establecidas, por tanto, pueden ser reemplazados en la ecuación anterior, estos son:

- Temperatura (T): 25 °C o 298 °K
- coeficiente osmótico ϕ : 1 por factores de seguridad
- Constante de Boltzmann (R): 8,3145 l*kPa/mol*K.

En las siguientes tablas se aprecian los cálculos de presión osmótica para cada compuesto químico en la alimentación y el permeado.

Tabla 16

Resultado presión osmótica de alimentación.

Compuesto	Símbolo	i	Peso	Ca	Ma	π_a (kPa)
			Atómico (g/mol)	Máxima	(mol/L)	
Arsénico	As	1	74,9216	0,05	6,67E-07	0,001654

Aluminio	Al	1	27	0,2	7,41E-06	0,018366
Antimonio	Sb	1	121,76	0,02	1,64E-07	0,000407
Bario	Ba	1	137,327	1	7,28E-06	0,018042
Cadmio	Cd	1	112,411	0,005	4,45E-08	0,000110
Calcio	Ca	1	40,078	60	0,001497	3,709348
Cianuro	CN	1	26,02	0,1	3,84E-06	0,009522
Zinc	Zn	1	65,38	5	7,65E-05	0,189486
Cloruros	Cl-	1	35,453	250	0,007052	17,471871
Cobre	C	1	63,546	1	1,57E-05	0,038991
Cromo hexavalente	Cr+6	1	311,9766	0,05	1,60E-07	0,000397
Dureza total	CaCO3	2	100,0869	300	0,002997	14,853418
Hierro total	Fe	1	55,845	0,03	5,37E-07	0,001331
Fluoruros	F-	1	18,998403	1	5,26E-05	0,130417
Magnesio	Mg	1	24,305	36	0,001481	3,669943
Manganeso	Mn	1	54,938044	0,1	1,82E-06	0,004510
Mercurio	Hg	1	200,59	0,001	4,99E-09	0,000012
Nitratos	NO3	1	62,0049	15	2,42E-04	0,599401
Nitritos	NO2	1	46	0,1	2,17E-06	0,005386
Plomo	Pb	1	207,2	0,01	4,83E-08	0,000120
Plata	Ag	1	107,8682	0,05	4,64E-07	0,001148
Selenio	Se	1	78,96	0,01	1,27E-07	0,000314

Sulfatos	SO4	1	96,06	250	0,002603	6,448368
Sodio	Na	1	22,9897	200	0,008700	21,555053
Total						68,7276

Nota. Ca = Concentrado de alimentación, Ma = Molaridad de alimentación, π_a = presión osmótica de alimentación, resultado obtenido mediante una hoja de cálculo.

Tabla 17

Resultado presión osmótica permeado.

Compuesto	Símbolo	Cp	Mp (mol/L)	π_p (kPa)
Arsénico	As	0,001	1,33E-08	3,31E-05
Aluminio	Al	0,004	1,48E-07	0,000367
Antimonio	Sb	0,0004	3,29E-09	8,14E-06
Bario	Ba	0,02	1,46E-07	0,000361
Cadmio	Cd	0,0001	8,90E-10	2,20E-06
Calcio	Ca	1,2	2,99E-05	0,074187
Cianuro	CN	0,002	7,69E-08	0,000190
Zinc	Zn	0,1	1,53E-06	0,003790
Cloruros	Cl-	5	1,41E-04	0,349437
Cobre	C	0,02	3,15E-07	0,000780
Cromo hexavalente	Cr+6	0,001	3,21E-09	7,94E-06
Dureza total	CaCO3	6	5,99E-05	0,297068
Hierro total	Fe	0,0006	1,07E-08	2,66E-05
Fluoruros	F-	0,02	1,05E-06	0,002608
Magnesio	Mg	0,72	2,96E-05	0,073399

Manganeso	Mn	0,002	3,64E-08	9,02E-05
Mercurio	Hg	0,00002	9,97E-11	2,47E-07
Nitratos	NO3	0,3	4,84E-06	0,011988
Nitritos	NO2	0,002	4,35E-08	0,000108
Plomo	Pb	0,0002	9,65E-10	2,39E-06
Plata	Ag	0,001	9,27E-09	2,30E-05
Selenio	Se	0,0002	2,53E-09	6,28E-06
Sulfatos	SO4	5	5,21E-05	0,128967
Sodio	Na	4	1,74E-04	0,431101
Total				1,3746

Nota. Se realiza el mismo procedimiento para el permeado, los valores para los pesos atómicos son iguales tanto en alimentación como permeado, Cp = Concentración de permeado, Mp = Molaridad de permeado, π_p = Presión osmótica de permeado.

En resumen

$$\pi_a = 68,7276 \text{ Kpa} = 68727,62 \text{ Pa}$$

$$\pi_p = 1,37455 \text{ Kpa} = 1374,55 \text{ Pa}$$

Se conocen las presiones osmóticas de alimentación y permeado, paso a seguir es hallar la presión osmótica del rechazo para reemplazarla en la ecuación de gradiente de presión osmótica en la membrana, (Rivas Nieto, 2019) realiza un análisis matemático con el cual permite llegar a una ecuación final para la presión neta, integrando las presiones osmóticas de alimentación, permeado y rechazo, estableciendo un factor de rechazo de la membrana que es de 98% según la ficha técnica de la membrana.

$$\Delta P_{NETA} = P_a - P_p - \frac{\pi_a}{2} + \pi_p - \frac{\pi_a}{2} \left[\frac{1 - 0,02r}{1 - r} \right] \quad (13)$$

Esta ecuación se puede desarrollar aún más ya que conocemos el valor de la presión neta y las presiones osmóticas de alimentación y permeado.

$$Q_p = 4,562 \times 10^{-11} * \Delta P_{NETA} = r Q_a$$

$$\Delta P_{NETA} = 2,192 \times 10^{10} r Q_a$$

Estos valores los reemplazamos en la ecuación 13 con los valores de las presiones osmóticas antes halladas y resolvemos.

$$2,192 \times 10^{10} r Q_a = P_a - P_p - \frac{68727,62}{2} + 1374,55 - \frac{68727,62}{2} \left[\frac{1 - 0,02r}{1 - r} \right]$$

Por tanto

$$2,192 \times 10^{10} r Q_a = P_a - P_p - 32989,25 - 34363,80 \left[\frac{1 - 0,02r}{1 - r} \right] \quad (14)$$

4.3.3.1. Cálculos presión de alimentación

Se seguirá el mismo procedimiento planteado por Rivas (2019) para el cálculo de las presiones de alimentación y permeado, estos solo serán cálculos aproximados que pueden variar al momento de la implementación, de igual forma se busca un aproximado para la definir el tipo de bomba a usar, se desea que sistema de control pueda mitigar cualquier error que se presente en la planta final. Se inicia aplicando la ecuación de Bernoulli para el tramo de la alimentación.

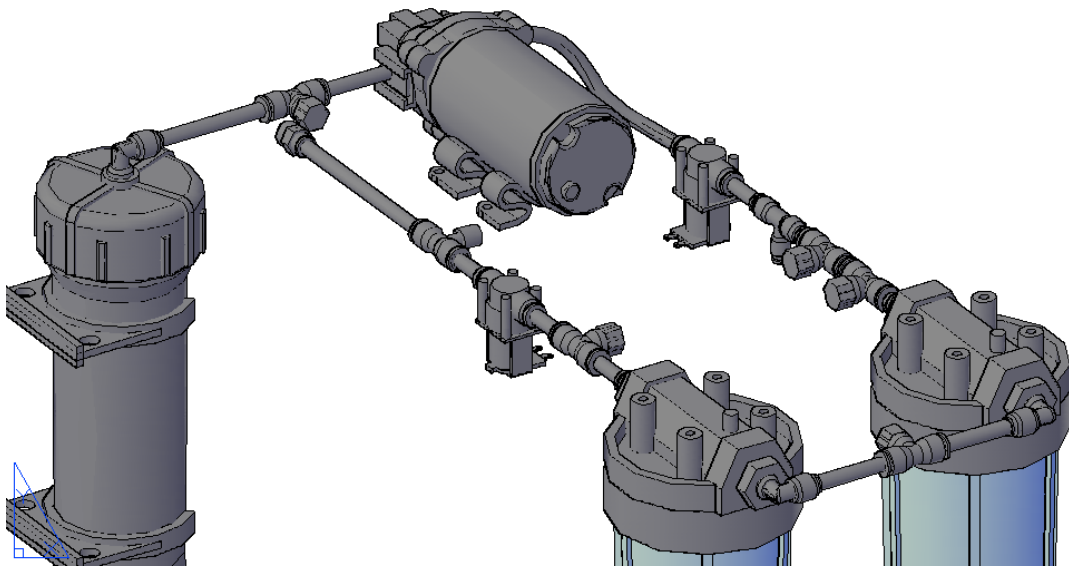


Ilustración 45. Plano 3D del tramo (entrada agua potable – entrada membrana de OI).
Fuente: Creación por el autor.

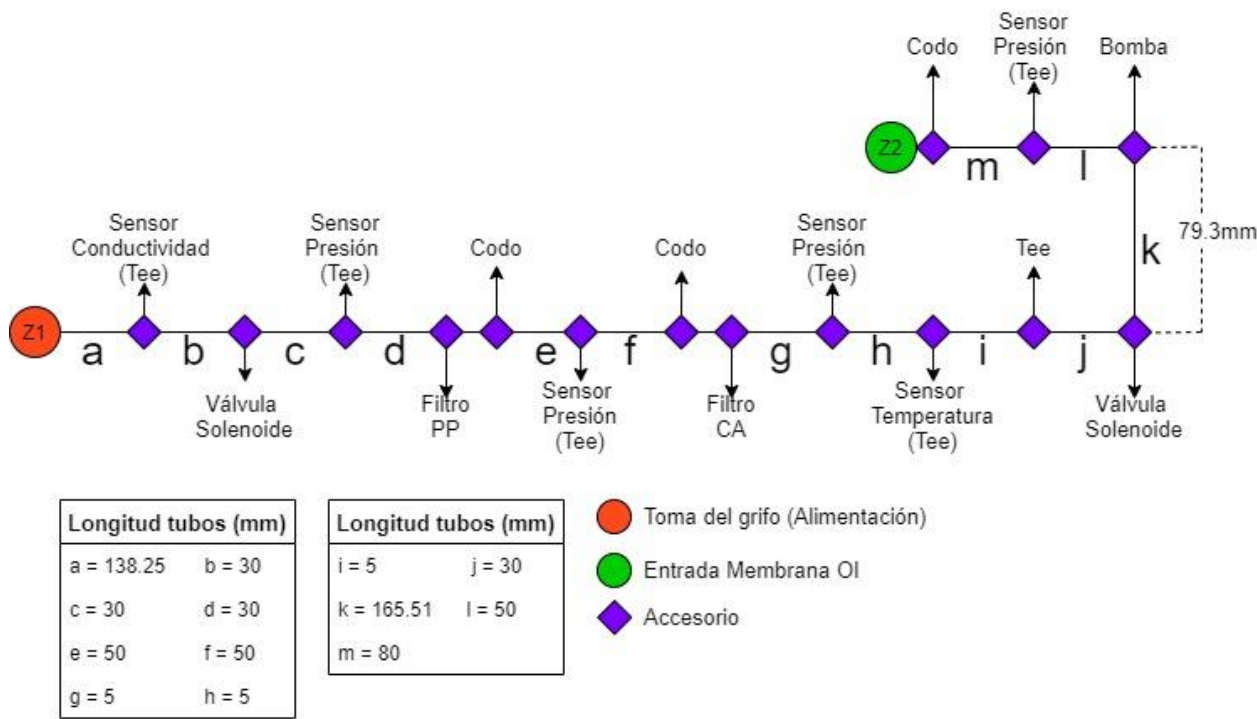


Ilustración 46. Esquema detallado del tramo (entrada agua potable – entrada membrana de OI).
Fuente: Creación por el autor.

$$P_1 + \rho g Z_1 + \frac{\rho V_1^2}{2} + P_{bomba} = P_2 + \rho g Z_2 + \frac{\rho V_2^2}{2} + \Delta P_{a Tub} + \Delta P_{a Acc} + \Delta P_{a Fil}$$

Donde:

- P_1 : Presión de entrada, este valor dependerá de la toma de agua donde se conecte la máquina, por lo general la presión del agua en el grifo puede oscilar desde los 200kPa a los 500kPa, para los cálculos se va a estimar un valor de 230kPa
- $Z_1 = 0$ (Altura toma del grifo)
- $Z_2 = 0,0793\text{m}$ (Altura entrada a membrana OI desde la toma del grifo)
- $\rho = 997,13$ para una temperatura de 25°C
- $V_1 = V_2$
- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Desarrollando tenemos

$$P_a = 230000 + P_{bomba} - 775,70 - \Delta P_{a Tub} - \Delta P_{a Acc} - \Delta P_{a Fil}$$

$$P_a = 229224,30 + P_{bomba} - \Delta P_{a Tub} - \Delta P_{a Acc} - \Delta P_{a Fil} \quad (15)$$

La ecuación anterior nos entrega variables desconocidas como las pérdidas de presión en la tubería, los accesorios (sensores, actuadores, codos, Tee), en los filtros y la presión suministrada por la bomba, por tanto, se procede a hallar cada variable,

Hallaremos las pérdidas de presión en la tubería ($\Delta P_{a Tub}$), la tubería o manguera a usar en la alimentación es de 3/8" de la marca Hydrofit la cual tiene un diámetro interno de 0,250" o 6,35 mm; para conocer el tipo de flujo se halla el número de Reynolds con los siguientes datos.

- D_h = diámetro interno de la manguera $6,35 \times 10^{-3} \text{ m}$
- ν = Viscosidad cinemática a 25°C , $8,93 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$

Estimaremos un caudal de alimentación de 480 l/h, con ese valor y el área de la tubería se determina una velocidad de $V = 4,21$ m/s

$$Re = \frac{D_h * V}{\nu} = \frac{6,35 \times 10^{-3} * 4,21}{8,93 \times 10^{-7}} = 29938,06$$

El resultado nos dice que nuestro fluido es turbulento ya que se encuentra dentro del rango $2320 < Re < 10^5$

$$Re \frac{\varepsilon}{D_i} = 29938,06 \frac{0,002 \text{ mm}}{6,35 \text{ mm}} = 9,43$$

Esto indica que nuestra manguera bajo las condiciones presentes es hidráulicamente lisa, ahora hallaremos el coeficiente de fricción con la fórmula de Blasius, para después hallar el valor de pérdidas en cada tramo de tubería de nuestra planta, para este caso nuestro coeficiente de fricción es el siguiente.

$$\lambda = 0,3164 Re^{-0,25} = 0,0240$$

Con la siguiente ecuación se hallan las perdidas en cada tramo.

$$\Delta P_{a \text{ Tub}} = \lambda \sum \frac{\rho L_i}{2 D_i A^2} Q^2$$

Los resultados se verán en la siguiente tabla

Tabla 18

Perdidas en los tramos de la tubería de alimentación

	Longitud del tramo	Kp tubería
No	m	
1	0,13825	2,603E+11
2	0,03	5,649E+10
3	0,03	5,649E+10

4	0,03	5,649E+10
5	0,05	9,415E+10
6	0,05	9,415E+10
7	0,005	9,415E+09
8	0,005	9,415E+09
9	0,005	9,415E+09
10	0,03	5,649E+10
11	0,16551	3,117E+11
12	0,05	9,415E+10
13	0,08	1,506E+11
		1,259E+12

Por tanto, la pérdida en la tubería de alimentación es

$$P_{a\ Tub} = 1,259 \times 10^{12} Q_a^2$$

Ahora se hallan las pérdidas de presión presentada en los accesorios en la parte de alimentación de la planta $\Delta P_{a\ Acc}$, estas se hallan mediante la siguiente ecuación.

$$\Delta P_{a\ Acc} = \sum k_i \frac{\rho Q^2}{2A^2} = K_{a\ Acc} Q_a^2 \quad (16)$$

los valores se verán reflejados en la siguiente tabla, es de tener en cuenta que no se agregaron todos los accesorios y este es un valor estimado ya que se usan valores aproximados a la constante K de cada accesorio.

Tabla 19

Pérdida de presión para cada accesorio en la alimentación.

No.	Accesorio	k	Kp Acc
-----	-----------	---	--------

1	Tee	0,1	4,971E+10
2	Tee	0,1	4,971E+10
3	Tee	0,1	4,971E+10
4	Tee	0,1	4,971E+10
5	Tee	0,1	4,971E+10
6	Tee	0,1	4,971E+10
7	Codo 90°	0,9	4,474E+11
8	Codo 90°	0,9	4,474E+11
9	Codo 90°	0,9	4,474E+11
10	Válvula Abierta	10	4,971E+12
11	Válvula Abierta	10	4,971E+12
Total			1,158E+13

Algunos accesorios usados en la etapa de alimentación como los filtros de carbón y polipropileno no detallan la pérdida de presión en su ficha técnica, sin embargo, Rivas (2019) propone lo siguiente:

Para considerar el efecto de la carcasa de los filtros y agregar un factor de seguridad debido a la eventual saturación de los elementos filtrantes contenidos en los cartuchos, usaremos un factor de seguridad de 1.2 a las pérdidas de presión por cada filtro en los accesorios del permeado y alimentación.

Por tanto, se va a agregar un factor de seguridad del 20% a cada filtro, al tener dos filtros tenemos

$$P_{a\ Acc} = 1,158 \times 10^{13} Q_a^2$$

$$P_{a\ Acc} = 1,4 * 1,158 \times 10^{13} Q_a^2 = 1,662 \times 10^{13} Q_a^2$$

$$P_a = 229224,30 + P_{bomba} - 1,259 \times 10^{12} Q_a^2 - 1,662 \times 10^{13} Q_a^2$$

$$P_a = 229224,30 + P_{bomba} - 1,747 \times 10^{13} Q_a^2 \quad (17)$$

4.3.3.2. *Cálculos de presión en el permeado*

El procedimiento es igual al anterior, con la diferencia que ahora se van a usar tuberías de 1/4".

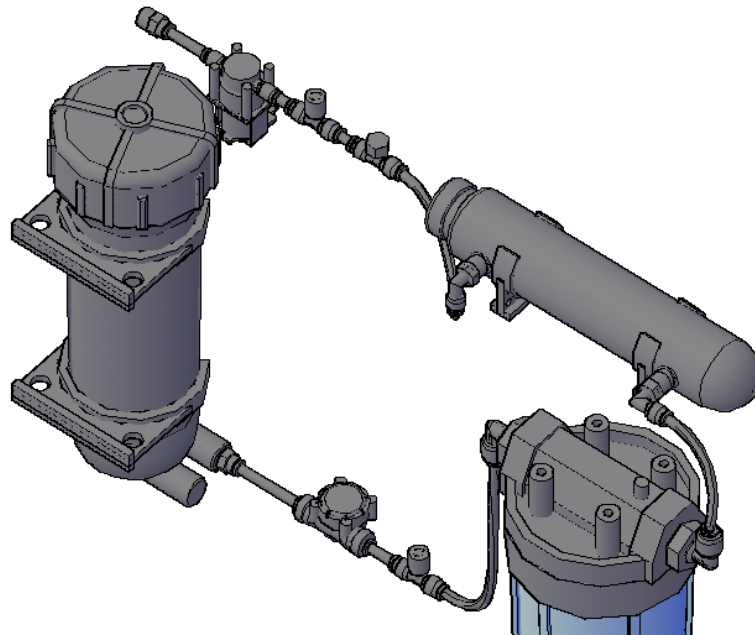


Ilustración 47. Plano 3D del tramo (salida membrana IO – salida de la planta).

Fuente: Creación por el autor.

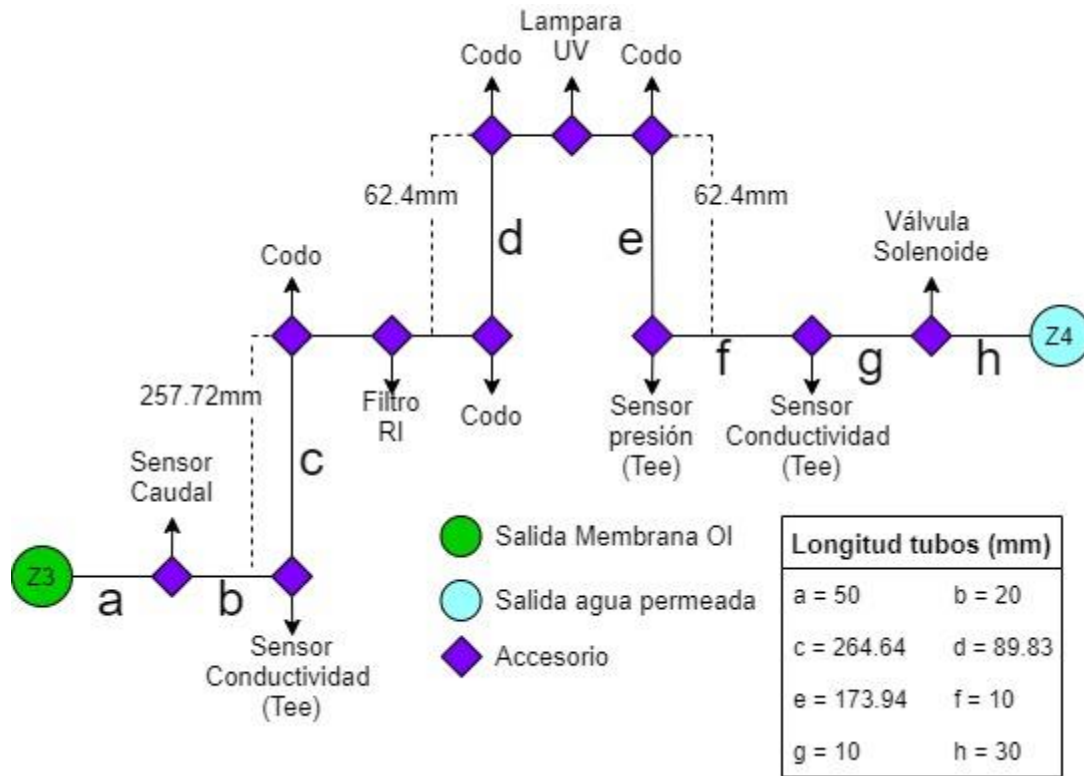


Ilustración 48. Esquema detallado del tramo (salida membrana IO – salida de la planta).

Fuente: Creación por el autor.

Se usa la ecuación de Bernoulli.

$$P_3 + \rho g Z_3 + \frac{\rho V_3^2}{2} = P_4 + \rho g Z_4 + \frac{\rho V_4^2}{2} + \Delta P_{p\ Tub} + \Delta P_{p\ Acc} + \Delta P_{p\ Fil}$$

Los datos conocidos son los siguientes

- P_4 = Presión atmosférica 101325 Pa
- $Z_4 = 0,25772\text{m}$ (Altura punto en Salida Membrana OI desde salida agua permeada)
- $Z_3 = 0$ (altura punto en Salida agua permeada)
- $V_3 = V_4$
- $\rho = 997,13$ para una temperatura de 25°C
- $g = 9,81\text{ m/s}^2$

$$P_p = 98854,59 + \Delta P_{p\ Tub} + \Delta P_{p\ Acc} + \Delta P_{p\ Fil} \quad (18)$$

Se procede a hallar las pérdidas de presión en tuberías para el permeado, partiendo del número de Reynols.

Dh = diámetro interno de la manguera es de $4,064 \times 10^{-3}$ m

ν = Viscosidad cinemática a 25 °C es $8,93 \times 10^{-7}$ m²/s

Usaremos un caudal de permeado deseado, este es de 74 l/h, con ello se puede conocer el tipo de flujo, la velocidad en la tubería de 1/4" es de $V = 1,585$ m/s

$$Re = \frac{D_h * V}{\nu} = \frac{4,064 \times 10^{-3} * 1,585}{8,93 \times 10^{-7}} = 7211,64$$

El resultado demuestra que el fluido es turbulento ya que se encuentra dentro del rango $2320 < Re < 10^5$, se procede a hallar las condiciones de flujo.

$$Re \frac{\varepsilon}{Di} = 7211,64 \frac{0,002\ mm}{4,064\ mm} = 3,55$$

Esto indica que la manguera bajo las condiciones presentes es hidráulicamente lisa, el procedimiento siguiente es hallar el coeficiente de fricción, para después hallar el valor de pérdidas en cada tramo de tubería de la planta portátil, se usa la fórmula de Blasius y se realiza el procedimiento igual al usado para el tramo de alimentación.

$$\lambda = 0,3164 Re^{-0,25} = 0,0343$$

$$\Delta P_{a\ Tub} = \lambda \sum \frac{\rho L_i}{2 D_i A^2} Q^2$$

Tabla 20

Perdidas en los tramos de la tubería del permeado.

	L	Kp tubería
No	m	

1	0,05	1,252E+12
2	0,02	5,006E+11
3	0,26464	6,625E+12
4	0,08983	2,249E+12
5	0,17394	4,354E+12
6	0,01	2,503E+11
7	0,01	2,503E+11
8	0,03	7,510E+11
		1,623E+13

Por tanto, la pérdida estimada en la tubería de permeado es

$$P_{p\ Tub} = 1,623 \times 10^{13} r^2 Q_a^2$$

Las pérdidas en los accesorios de la parte del permeado se hallan mediante la siguiente ecuación

$$\Delta P_{p\ Acc} = \sum k_i \frac{\rho Q^2}{2A^2} = K_{a\ Acc} Q_a^2$$

Los valores se verán reflejados en la siguiente tabla, es de tener en cuenta que no se agregaron todos los accesorios porque se desconoce el valor de K además este es un valor estimado.

Tabla 21

Perdida de presión para cada accesorio en el permeado.

No.	Accesorio	k	Kp Acc
1	T	0,1	2,963E+11
2	T	0,1	2,963E+11

3	T	0,1	2,963E+11
4	Codo 90°	0,9	2,667E+12
5	Codo 90°	0,9	2,667E+12
6	Codo 90°	0,9	2,667E+12
7	Codo 90°	0,9	2,667E+12
8	Válvula	10	2,963E+13
			4,119E+13

Agregamos el factor de seguridad para el filtro de resina ionizada

$$P_{p\ Acc} = 4,119 \times 10^{13} r^2 Q_a^2$$

$$P_{p\ Acc} = 1.2 * 4,119 \times 10^{13} r^2 Q_a^2 = 4,942 \times 10^{13} r^2 Q_a^2$$

Por tanto, la ecuación para la pérdida de presión en el permeado es

$$P_p = 100366,44 + 1,623 \times 10^{13} r^2 Q_a^2 + 4,942 \times 10^{13} r^2 Q_a^2$$

$$P_p = 100366,44 + 6,565 \times 10^{13} r^2 Q_a^2 \quad (19)$$

Se integran las ecuaciones 17 y 19 en la ecuación 14

$$2,192 \times 10^{10} r Q_a = P_a - P_p - 32989,25 - 34363,80 \left[\frac{1 - 0,02r}{1 - r} \right]$$

$$2,192 \times 10^{10} r Q_a$$

$$= P_{bomba} + 95868,61 - 1,747 \times 10^{13} Q_a^2$$

$$- 6,565 \times 10^{13} r^2 Q_a^2 - 34363,80 \left[\frac{1 - 0,02r}{1 - r} \right]$$

(20)

4.3.4. Elección de la bomba

Rivas (2019), realiza un análisis donde se analiza el comportamiento de varios tipos de bomba a través de su curva características que relaciona la presión y el caudal, gracias a ello y a la bibliografía, podemos deducir que para nuestro proyecto se es conveniente usar bombas de diafragma o desplazamiento positivo, debido a que son las que mejor se acercan a una linealidad según la gráfica presentada. El procedimiento para seleccionar la bomba es basado en el proyecto de Rivas (2019), por lo que nos saltaremos todo el procedimiento de paso a paso y solo mostraremos la información más relevante para nuestro proyecto.

Una vez definido el tipo de bomba, se realiza una consulta para varias marcas de bombas buscando la que mejor se acomode al proyecto. Las marcas usadas son, Aquatec serie 58xx y 786x, y la marca E-CHEN EC-40X series.

Un resumen de la presión en relación del caudal producidos por todas las bombas a analizar se presenta a continuación, es de tener en cuenta que solo se agregan aquellas que produzcan un caudal superior a 50 GPH cuando la bomba este apagada. La mayoría de las bombas suministran su información del caudal en GPH o LPM, se realizará una conversión a m³/s, debido a que es la magnitud con la que se van a hallar los siguientes parámetros como recuperación.

Presion Bomba	Caudal Alimentación (m ³ /s)											
	Aquatec								E-CHEN			
	5802	5803	5804	7860	7861	7862	7863	7864	405	406	408	
0	5,491E-05	6,312E-05	7,069E-05	4,734E-05	5,239E-05	5,807E-05	7,196E-05	7,890E-05	1,317E-04	1,401E-04	1,534E-04	
10	5,239E-05	6,123E-05	6,817E-05	4,418E-05	4,923E-05	5,681E-05	6,943E-05	7,701E-05	1,184E-04	1,351E-04	1,501E-04	
20	5,113E-05	5,807E-05	6,628E-05	4,103E-05	4,608E-05	5,555E-05	6,691E-05	7,511E-05	1,000E-04	1,301E-04	1,417E-04	
30	4,923E-05	5,618E-05	6,312E-05	3,787E-05	4,292E-05	5,428E-05	6,438E-05	7,385E-05	9,671E-05	1,050E-04	1,334E-04	
40	4,355E-05	5,239E-05	5,744E-05	3,535E-05	4,040E-05	5,302E-05	6,312E-05	7,259E-05	9,504E-05	1,000E-04	1,234E-04	
50	3,977E-05	4,482E-05	5,239E-05	3,282E-05	3,787E-05	5,050E-05	6,186E-05	7,133E-05	8,170E-05	9,838E-05	1,084E-04	
60	3,724E-05	4,229E-05	5,113E-05	3,093E-05	3,598E-05	4,986E-05	6,123E-05	7,006E-05	6,670E-05	9,171E-05	1,000E-04	
70	3,535E-05	4,166E-05	5,050E-05	2,904E-05	3,408E-05	4,797E-05	6,060E-05	6,880E-05	6,336E-05	8,337E-05	9,338E-05	
80	3,408E-05	4,103E-05	4,923E-05	2,777E-05	3,345E-05	4,608E-05	5,870E-05	6,691E-05	6,253E-05	7,503E-05	9,004E-05	
90	3,345E-05	4,040E-05	4,797E-05	2,651E-05	3,282E-05	4,418E-05	5,681E-05	6,501E-05	6,169E-05	7,170E-05	8,337E-05	
100	3,282E-05	3,913E-05	4,671E-05	2,525E-05	3,093E-05	4,103E-05	5,428E-05	6,312E-05	5,002E-05	6,670E-05	7,503E-05	
110	3,156E-05	3,787E-05	4,482E-05	2,399E-05	2,904E-05	3,787E-05	5,176E-05	6,123E-05	4,669E-05	5,836E-05	6,670E-05	
120	3,030E-05	3,661E-05	4,292E-05	2,272E-05	2,714E-05	3,472E-05	4,923E-05	5,933E-05	3,668E-05	5,002E-05	5,669E-05	
130	2,967E-05	3,598E-05	4,166E-05	2,146E-05	2,525E-05	3,156E-05	4,734E-05	5,681E-05	3,335E-05	3,668E-05	4,169E-05	

Ilustración 49. Caudales de alimentación para cada bomba en relación a la presión.

Fuente: Creación por el autor.

La recuperación es un valor importante al momento de determinar la bomba a usar, esta recuperación representa el porcentaje obtenido en relación la cantidad de agua de alimentación, es decir, se puede determinar la cantidad de permeado con el porcentaje de recuperación, como se puede apreciar en la ecuación 19, la recuperación tiene estrecha relación con las presiones en el sistema, especialmente con las presiones osmóticas que a su vez son afectadas por la cantidad de TDS presentes en el agua, donde en teoría si hay menor cantidad de TDS debe ser menor la presión necesitada para producirse el efecto de osmosis inversa. Al usar la ecuación 19, las variables (P_{bomba}) y (Q_a) toman los valores de la presión de la bomba y el caudal de alimentación respectivamente para cada punto de operación, los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

Presión Bomba	Recuperacion %											
	Aquatec								E-CHEN			
PSI	5802	5803	5804	7860	7861	7862	7863	7864	405	406	408	
0	0,7%	-0,6%	-1,6%	2,1%	1,1%	0,2%	-1,8%	-2,7%	-8,6%	-9,4%	-10,8%	
10	6,9%	4,7%	3,2%	9,5%	7,8%	5,7%	3,0%	1,6%	-4,4%	-6,5%	-8,2%	
20	13,0%	10,5%	8,1%	17,7%	15,2%	11,4%	7,9%	5,9%	1,1%	-3,4%	-4,9%	
30	19,6%	16,3%	13,6%	27,0%	23,3%	17,2%	13,2%	10,2%	4,8%	3,2%	-1,4%	
40	29,3%	23,4%	20,8%	36,8%	31,9%	23,1%	18,2%	14,6%	8,3%	7,1%	2,6%	
50	39,1%	34,4%	28,7%	47,4%	41,2%	30,0%	23,3%	19,0%	15,3%	10,5%	8,1%	
60	48,7%	42,8%	34,9%	57,7%	50,3%	35,9%	28,1%	23,5%	25,1%	15,4%	13,0%	
70	57,9%	49,6%	40,6%	67,9%	59,8%	42,9%	32,9%	28,1%	31,2%	21,5%	17,9%	
80	66,1%	56,2%	46,9%	76,1%	67,1%	50,2%	38,7%	33,1%	35,9%	28,6%	22,1%	
90	72,8%	62,7%	53,3%	82,5%	73,7%	57,7%	44,7%	38,3%	40,7%	34,1%	28,0%	
100	78,6%	69,7%	59,7%	87,0%	81,0%	67,1%	51,5%	43,7%	55,9%	41,1%	35,7%	
110	83,9%	76,2%	66,9%	90,1%	86,4%	76,2%	58,6%	49,3%	64,6%	51,9%	44,9%	
120	87,8%	81,7%	73,9%	92,1%	90,0%	83,8%	66,0%	55,1%	81,7%	65,0%	57,7%	
130	90,2%	85,5%	79,4%	93,5%	92,2%	89,0%	72,5%	61,6%	87,7%	84,8%	79,4%	

Ilustración 50. Recuperación de cada bomba en relación a la presión.

Fuente: Creación por el autor.

Con el porcentaje de recuperación, se puede hallar el caudal de permeado, para ello se usa la siguiente ecuación en cada punto.

$$Q_p = Q_a * r \quad (21)$$

Presión Bomba	Caudal Permeado (m3/s)										
	Aquatec								E-CHEN		
PSI	5802	5803	5804	7860	7861	7862	7863	7864	405	406	408
0	3,91E-07	-3,61E-07	-1,16E-06	9,84E-07	6,00E-07	1,15E-07	-1,30E-06	-2,13E-06	-1,13E-05	-1,32E-05	-1,66E-05
10	3,61E-06	2,86E-06	2,18E-06	4,18E-06	3,85E-06	3,25E-06	2,05E-06	1,20E-06	-5,24E-06	-8,72E-06	-1,23E-05
20	6,65E-06	6,12E-06	5,37E-06	7,27E-06	6,98E-06	6,32E-06	5,31E-06	4,44E-06	1,10E-06	-4,39E-06	-6,99E-06
30	9,66E-06	9,17E-06	8,60E-06	1,02E-05	1,00E-05	9,32E-06	8,49E-06	7,55E-06	4,65E-06	3,36E-06	-1,93E-06
40	1,28E-05	1,23E-05	1,19E-05	1,30E-05	1,29E-05	1,22E-05	1,15E-05	1,06E-05	7,86E-06	7,14E-06	3,18E-06
50	1,56E-05	1,54E-05	1,50E-05	1,56E-05	1,56E-05	1,52E-05	1,44E-05	1,36E-05	1,25E-05	1,03E-05	8,80E-06
60	1,81E-05	1,81E-05	1,78E-05	1,79E-05	1,81E-05	1,79E-05	1,72E-05	1,65E-05	1,68E-05	1,41E-05	1,30E-05
70	2,05E-05	2,07E-05	2,05E-05	1,97E-05	2,04E-05	2,06E-05	2,00E-05	1,93E-05	1,98E-05	1,79E-05	1,67E-05
80	2,25E-05	2,31E-05	2,31E-05	2,11E-05	2,24E-05	2,31E-05	2,27E-05	2,22E-05	2,25E-05	2,15E-05	1,99E-05
90	2,43E-05	2,53E-05	2,56E-05	2,19E-05	2,42E-05	2,55E-05	2,54E-05	2,49E-05	2,51E-05	2,44E-05	2,33E-05
100	2,58E-05	2,73E-05	2,79E-05	2,20E-05	2,51E-05	2,75E-05	2,79E-05	2,76E-05	2,80E-05	2,74E-05	2,68E-05
110	2,65E-05	2,89E-05	3,00E-05	2,16E-05	2,51E-05	2,89E-05	3,03E-05	3,02E-05	3,01E-05	3,03E-05	2,99E-05
120	2,66E-05	2,99E-05	3,17E-05	2,09E-05	2,44E-05	2,91E-05	3,25E-05	3,27E-05	3,00E-05	3,25E-05	3,27E-05
130	2,68E-05	3,08E-05	3,31E-05	2,01E-05	2,33E-05	2,81E-05	3,43E-05	3,50E-05	2,93E-05	3,11E-05	3,31E-05

Ilustración 51. Caudal de permeado para cada bomba con relación a la presión.

Los caudales iguales o superiores a $2,0556 \times 10^{-5}$ que es el caudal deseado son los que están resaltados en color verde.

Fuente: Creación por el autor.

Conocer la cantidad de caudal rechazo es un factor importante si deseamos que nuestra planta haga el menor derroche de agua, para determinar esta cantidad de usa la siguiente ecuación para cada punto de las bombas.

$$Q_r = Q_a - Q_p \quad (22)$$

Presión Bomba	Caudal Rechazo (m3/s)										
	Aquatec								E-CHEN		
PSI	5802	5803	5804	7860	7861	7862	7863	7864	405	406	408
0	5,45E-05	6,35E-05	7,19E-05	4,64E-05	5,18E-05	5,80E-05	7,33E-05	8,10E-05	1,43E-04	1,53E-04	1,70E-04
10	4,88E-05	5,84E-05	6,60E-05	4,00E-05	4,54E-05	5,36E-05	6,74E-05	7,58E-05	1,24E-04	1,44E-04	1,62E-04
20	4,45E-05	5,20E-05	6,09E-05	3,38E-05	3,91E-05	4,92E-05	6,16E-05	7,07E-05	9,89E-05	1,34E-04	1,49E-04
30	3,96E-05	4,70E-05	5,45E-05	2,77E-05	3,29E-05	4,50E-05	5,59E-05	6,63E-05	9,21E-05	1,02E-04	1,35E-04
40	3,08E-05	4,01E-05	4,55E-05	2,24E-05	2,75E-05	4,08E-05	5,16E-05	6,20E-05	8,72E-05	9,29E-05	1,20E-04
50	2,42E-05	2,94E-05	3,73E-05	1,73E-05	2,23E-05	3,53E-05	4,75E-05	5,78E-05	6,92E-05	8,81E-05	9,96E-05
60	1,91E-05	2,42E-05	3,33E-05	1,31E-05	1,79E-05	3,20E-05	4,40E-05	5,36E-05	4,99E-05	7,76E-05	8,71E-05
70	1,49E-05	2,10E-05	3,00E-05	9,31E-06	1,37E-05	2,74E-05	4,06E-05	4,95E-05	4,36E-05	6,55E-05	7,67E-05
80	1,16E-05	1,80E-05	2,61E-05	6,64E-06	1,10E-05	2,30E-05	3,60E-05	4,47E-05	4,01E-05	5,36E-05	7,02E-05
90	9,11E-06	1,51E-05	2,24E-05	4,64E-06	8,63E-06	1,87E-05	3,14E-05	4,01E-05	3,66E-05	4,73E-05	6,00E-05
100	7,04E-06	1,19E-05	1,88E-05	3,27E-06	5,87E-06	1,35E-05	2,63E-05	3,55E-05	2,20E-05	3,93E-05	4,83E-05
110	5,07E-06	9,02E-06	1,48E-05	2,38E-06	3,95E-06	9,02E-06	2,14E-05	3,10E-05	1,65E-05	2,81E-05	3,68E-05
120	3,69E-06	6,69E-06	1,12E-05	1,80E-06	2,73E-06	5,62E-06	1,68E-05	2,67E-05	6,73E-06	1,75E-05	2,40E-05
130	2,91E-06	5,21E-06	8,56E-06	1,40E-06	1,96E-06	3,47E-06	1,30E-05	2,18E-05	4,09E-06	5,56E-06	8,58E-06

Ilustración 52. Caudal de rechazo de cada bomba con relación a la presión.

Fuente: Creación por el autor.

Se selecciona y evalúa el caudal de rechazo con relación a la presión donde el caudal producido es el deseado, las barras representan entonces la cantidad de rechazo comparando todas las bombas.

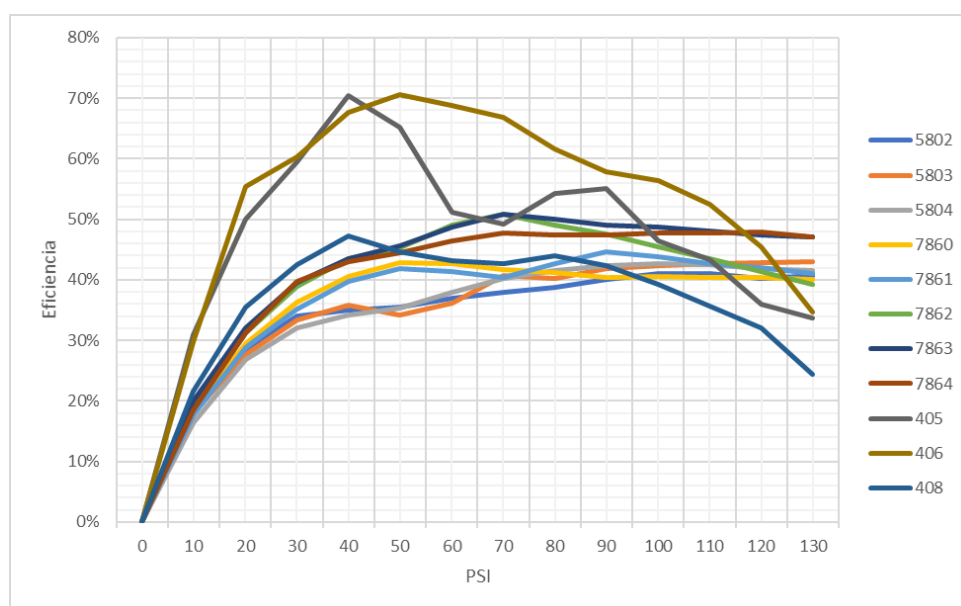


Ilustración 53. Eficiencia de las bombas.

Fuente: Creación por el autor.

La eficiencia nos permite elegir la bomba a usar, gracias a la información obtenida en el análisis computacional se decide a usar el modelo 7860 de la marca aquatec ya que ofrece los mejores resultados.

Se toma 80 PSI como presión de trabajo de la bomba, ya que con ella se obtiene el caudal deseado y no hay mucho desperdicio de agua, lo que lo hace ideal porque es una de las condiciones deseadas para esta planta, además a esta presión se tiene una eficacia del 41%, con una alta recuperación.

Una vez elegida la bomba y conociendo los datos se puede hallar la presión de alimentación, se usa la ecuación 20 donde.

$$P_a = 229224,30 + P_{bomba} - 1,747 \times 10^{13} Q_a^2$$

$$P_a = 229224,30 + 551580,58 - 1,747 \times 10^{13} Q_a^2$$

$$P_a = 229224,30 + 551580,58 - 1,747 \times 10^{13} * (2,777 \times 10^{-5})^2$$

$$P_a = 767329,77 \text{ pa}$$

$$P_a = 111,29 \text{ PSI}$$

Esta es la presión usara para producir los 74 l/h, es de tener en cuenta que este valor esta sobre el máximo exigido y la gran mayoría de monitores no requieren tal cantidad de agua por lo que en la practica la presión puede ser mucho inferior.

4.4. Diseño electrónico

El diseño electrónico es el siguiente

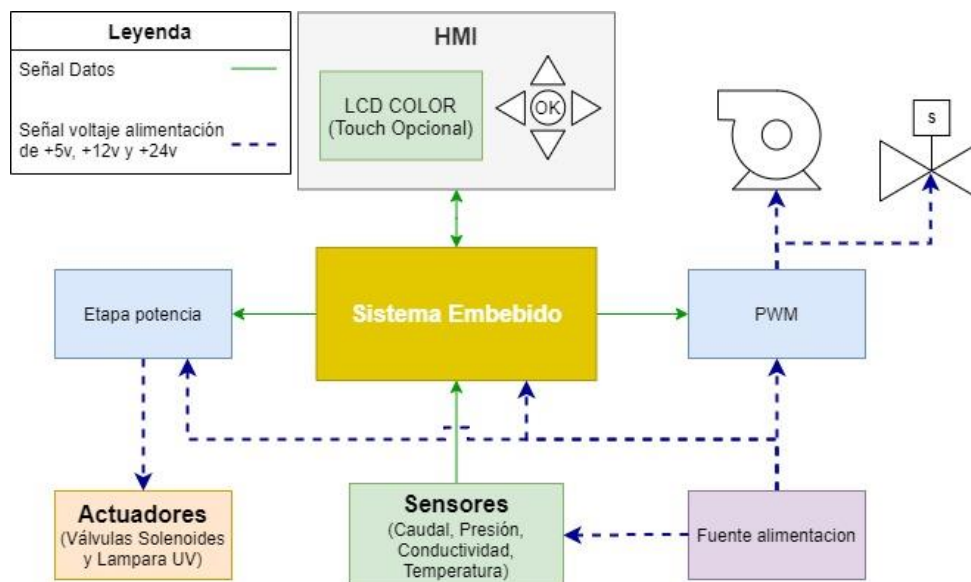


Ilustración 54. Esquema electrónico propuesto para la planta de tratamiento de agua portátil.

Fuente: Creación por el autor.

El anterior esquema representa la forma en que se propone debe ir conectado el sistema electrónico de la planta, se detallan a continuación sus bloques.

Actuadores: Se agrupan las todas las válvulas de solenoide y lámpara UV, también la bomba de diafragma y la válvula solenoide que se usara para regular la presión en el rechazo, se representa fuera del bloque actuadores para dar a conocer el modo en que serán manipuladas.

Sensores: Se agrupan los sensores usados en la planta, conductividad, caudal, presión y temperatura.

Sistema embebido: Este bloque representa la tarjeta encargada de realizar todo el proceso acorde al monitoreo y control de la planta, al ser un sistema embebido contara con la característica de poder almacenamiento la información suministrada por los sensores para un

posterior estudio de comportamiento de la planta ante las variaciones del tipo de agua de alimentación y el deterioro de las membranas y filtros. Como sistema embebido se propone usar el Arduino MEGA 2560, gracias a la sus características y prestaciones permitirá un buen funcionamiento para el monitoreo y control de la planta, no obstante aunque presenta la desventaja perder la configuración horaria cada que se reinicia o se interrumpe su alimentación eléctrica, se puede resolver dicho problema con la adición de un módulo de reloj externo como el DS3231 el cual incorpora una pequeña batería que guarda la configuración horaria aunque se interrumpa el suministro energético y la envía al Arduino MEGA mediante los pines SCL y SDA, la alimentación de este módulo es de 5 VDC por lo que se pueden usar directamente de Arduino.

Se deben dedicar una cantidad de pines de entrada en el Arduino MEGA a los cuales les llegara la señal eléctrica proveniente de los sensores, pueden deben ser entradas análogas o digitales.

Tabla 22.

Cantidad de pines de entrada a usar en Arduino MEGA.

Pines entrada	Cantidad
Análogos	10
Digitales	2

Asimismo, se debe dedicar una cantidad de pines de salida para los actuadores, estos son.

Tabla 23.*Cantidad de pines de salida a usar en Arduino MEGA.*

Pines Salidas	Cantidad
Digitales ON-OFF	7
PWM	2

Etapas de potencia: Representado también como un interruptor se encargará de activar las válvulas de solenoides convirtiendo las señales bajas procedentes del sistema embebido a señales altas con el uso de transistores, la importancia de esta etapa radica en que por lo general las válvulas de solenoide operan de 12 VDC a 24 VDC y los sistemas embebidos solo tiene salidas de máximo 5 VDC.

PWM: La modulación por ancho de pulso será el método usado para controlar los ciclos de trabajo, aunque dentro del sistema embebido se halla esta característica y es quien define el porcentaje de tiempo total que se tardara en completar un ciclo, se usa este bloque para representar el método por el cual se desea controlar la bomba de diafragma y válvula de solenoide (que tendrá la función de una válvula proporcional), así mismo se interpreta como una tarjeta externa al sistema embebido que será alimentada directamente desde la fuente debido a que tanto la bomba como la válvula se alimentan con voltajes superiores a los 12 VDC.

Tanto para la etapa de potencia como el PWM, se propone un circuito que integra todos los elementos electrónicos necesarios para efectuar la tarea deseada, en este se agrega un registro de desplazamiento 74HC595 con el motivo de usar una menor cantidad de salida en el Arduino MEGA.

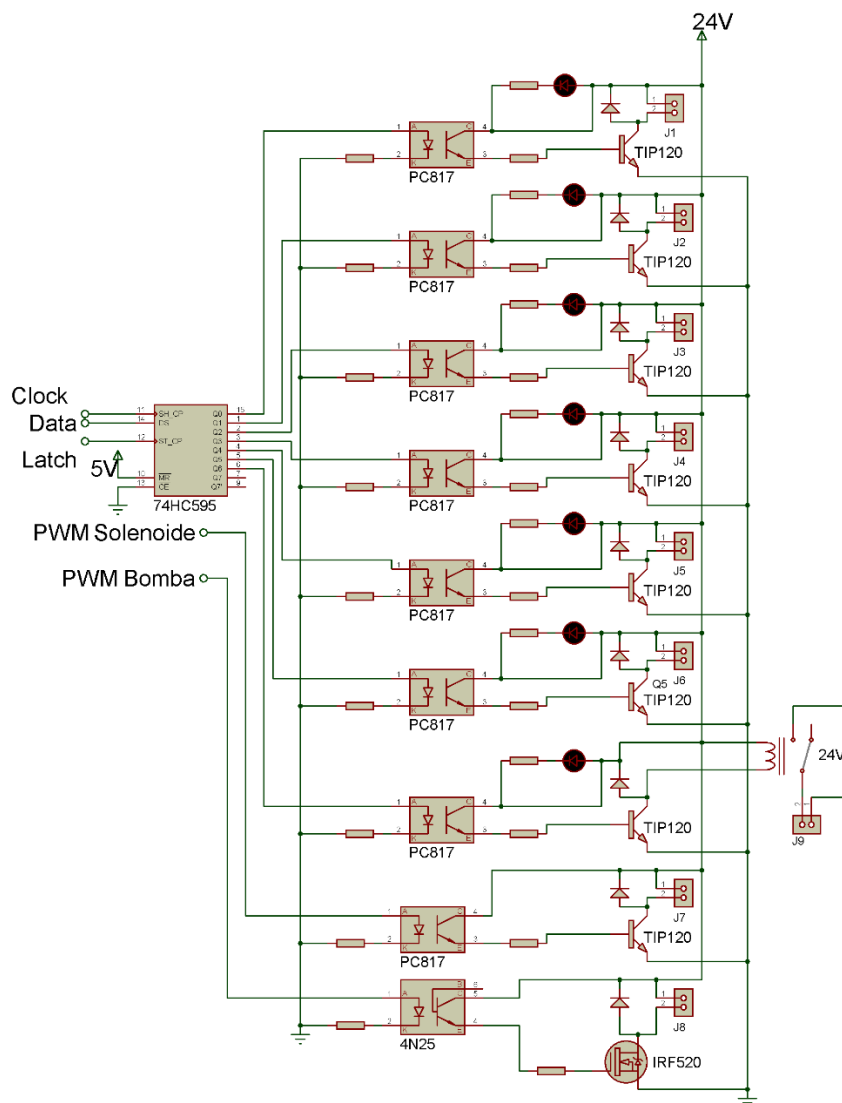


Ilustración 55. Circuito electrónico propuesto para la etapa de potencia, PWM y activación de la lampara UV.

Fuente: Creación por el autor.

Fuente alimentación: Este bloque representa el sistema encargado de transformar el voltaje AC 110 de la red domiciliaria en voltajes menores actos y rectificadas para el funcionamiento

del sistema sin tener que averiar sus componentes, este bloque alimenta los sensores, actuadores (mediante la etapa de potencia), el sistema embebido y por último el bloque PWM.

HMI: Este bloque representa la forma en que el operador podrá interactuar con la máquina; para efectuar dicha comunicación se recomienda usar una pantalla LCD a color donde se pueda visualizar los parámetros captados por los sensores y la configuración de la máquina (como la cantidad de caudal a producir), un panel de control que le permita al operador ingresar la configuración deseada para el sistema, por último se incorpora un dispositivo que emita sonidos para la notificación de alguna alarma presente mientras la maquina esté operando.

Existen muchos instrumentos disponibles para usar como visualización de información que sean compatible con Arduino, desde una pantalla LCD 2x16 sencillas hasta pantallas LCD a full color con panel táctil integrado.

Con el fin de otorgar una mejor presentación al diseño físico de la máquina, se busca una pantalla de un tamaño considerable y colores amigables para el usuario que va a operar esta máquina y que además incorpore un panel táctil resistivo; se decide usar un panel resistivo ya que lo más probable es que el operador este usando guantes y este tipo permite su manipulación con cualquier objeto solo haciendo una presión en la pantalla. El uso de un panel táctil evitara incorporar botones físicos como pulsadores para configurar la máquina, sin embargo, no queda exento de diseñar una versión de la máquina que cuenta con una pantalla y periférico de entrada usando botones.

Teniendo en cuenta la gran cantidad de pines de entrada y salida con las que cuenta la tarjeta Arduino MEGA se propone usar como medio para la HMI la pantalla ER-TFTM050-5-4124(RTP), esta esta viene en versiones con panel táctil capacitivo o resistivo con su controlador

y sin panel táctil, también es fabricada en múltiples resoluciones de pantalla y dimensiones físicas de tales como 4,3", 5", 7", 8" y 9" en diagonal, una última e importante característica de esta pantalla es la integración de un slot para memoria SD donde se cargara el programa de la pantalla así mismo cuenta con una memoria RAM, la ventaja que tienen esta característica es que el Arduino MEGA no va a tener toda la carga de procesamiento para la visualización.

Esta pantalla requiere del uso adicional para Arduino MEGA de un shield (placa complementaria o de expansión) el ER-AS-RA8875 que es compatible con TFT LCD con el controlador RA8875, la ventaja de este shield es que incorpora un slot para memoria SD adicional al que posee la pantalla, este servirá entonces para almacenar la información obtenida por los sensores presentes en la planta.

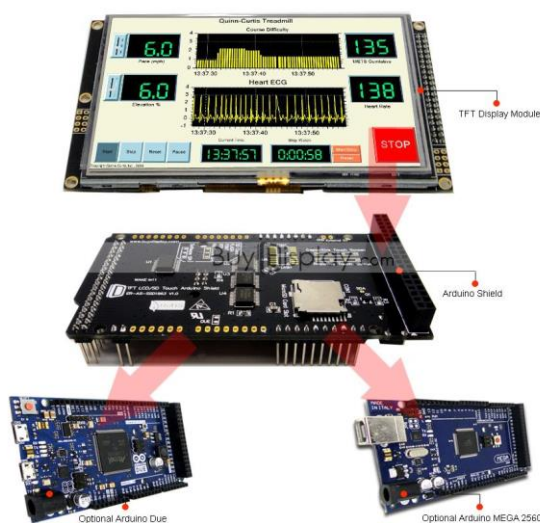


Ilustración 56. Pantalla ER-TFTM050-5-4124(RTP) y su conexión a Arduino.

Fuente: Tomada de

https://www.buydisplay.com/media/catalog/product/cache/8d4d2075b1a30681853bef5bdc41b164/d/i/display_5_inch_tft_arduino_touch_shield_ssd1963_for_mega_due.jpg

4.5. Diseño prototipo 3D

Se presentan imágenes a forma de propuesta para el diseño físico de la planta, estos fueron realizado con la ayuda de herramientas computacionales dedicada para cada fin, los tamaños son aproximados lo más real posible.

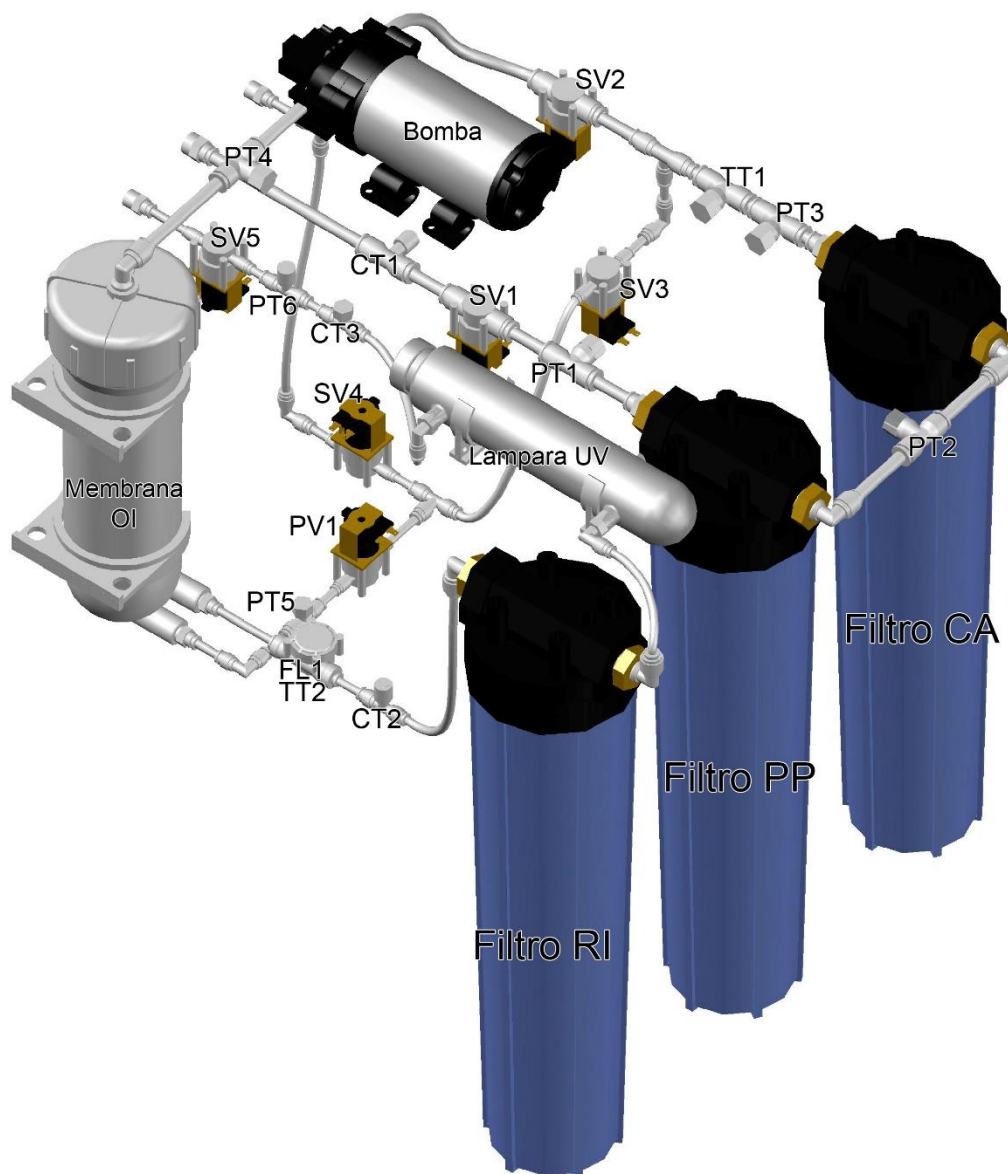


Ilustración 57. Representación 3D del esquema general de la planta (Vista frontal-lateral).

La ubicación de los sensores está representada por uniones Tee, (guiarse del esquema para conocer la ubicación de cada sensor)

Fuente: Creada por el autor.

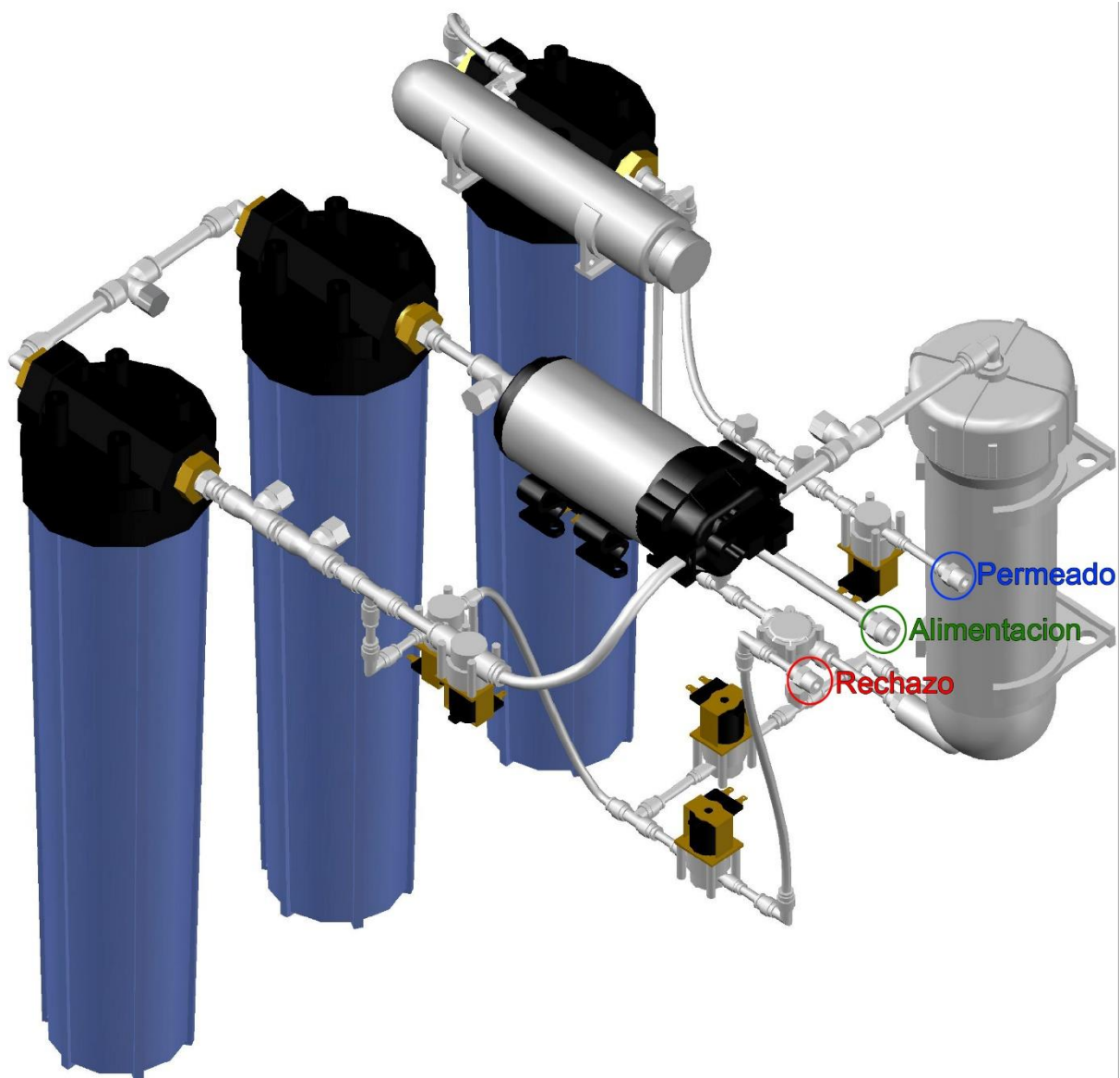


Ilustración 58. Representación 3D del esquema general de la planta (Vista trasera-lateral).
Fuente: Creada por el autor.

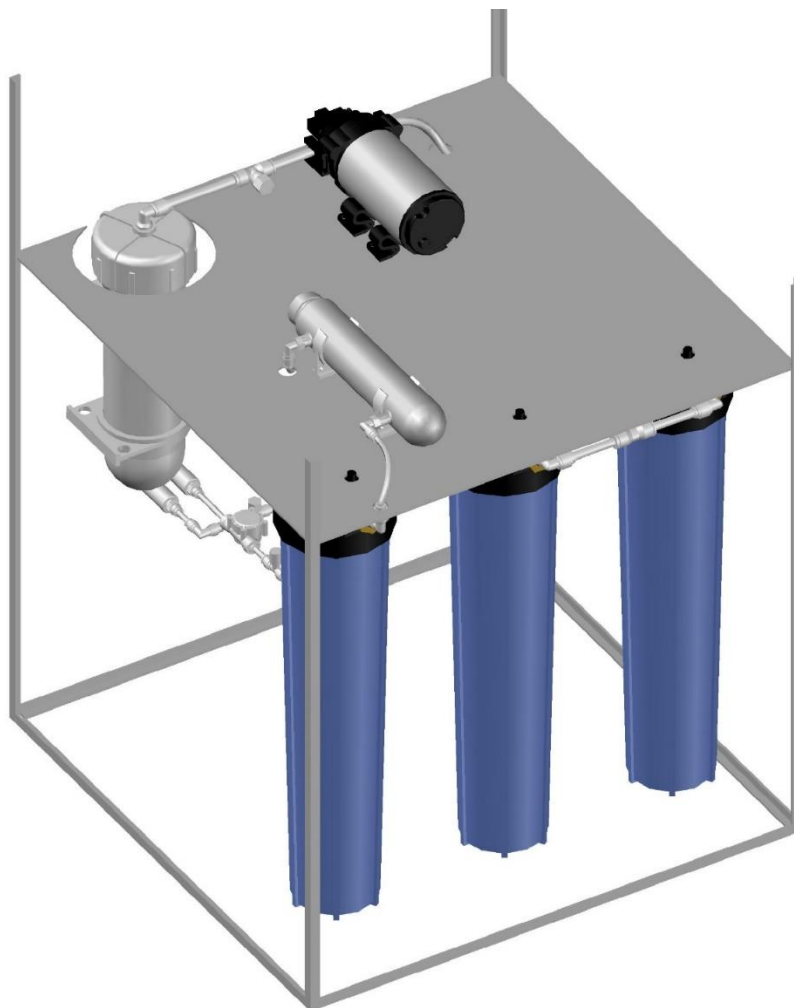


Ilustración 59. Estructura de soporte de los componentes de la planta

El propósito de la lámina (3mm) es sostener algunos componentes como la bomba, los portafiltros, el contenedor de la lámpara UV y además darle rigidez a la planta junto a los ángulos que la rodean.

Fuente: Creación por el autor.

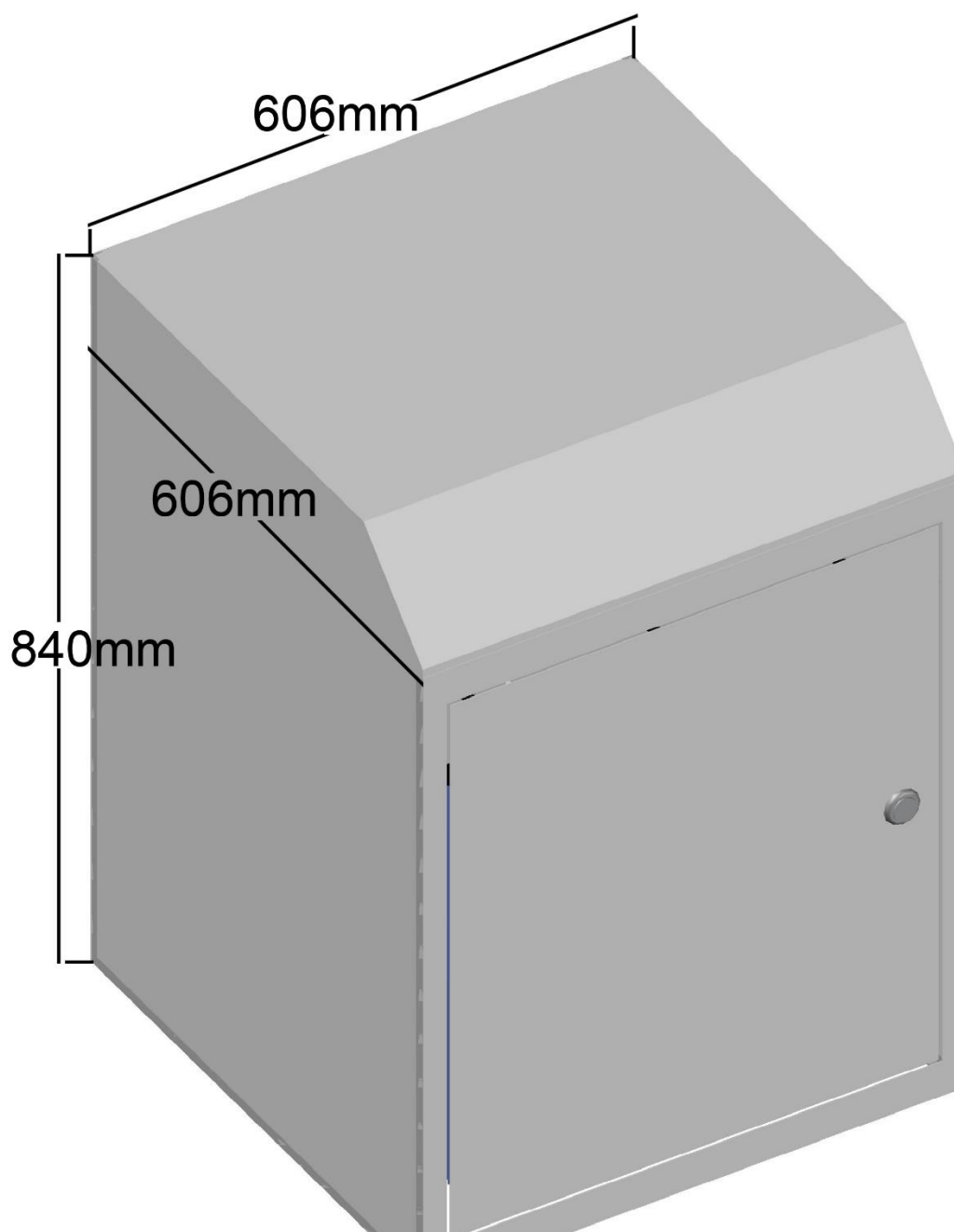


Ilustración 60. Carcasa de la planta de tratamiento de agua portátil.

Se presenta una propuesta de la carcasa que resguardara los componentes de la planta, aunque es un poco rudimentaria su propósito es demostrar las dimensiones, al momento de implementarla las dimensiones pueden cambiar un poco.

Fuente: Creación por el autor.

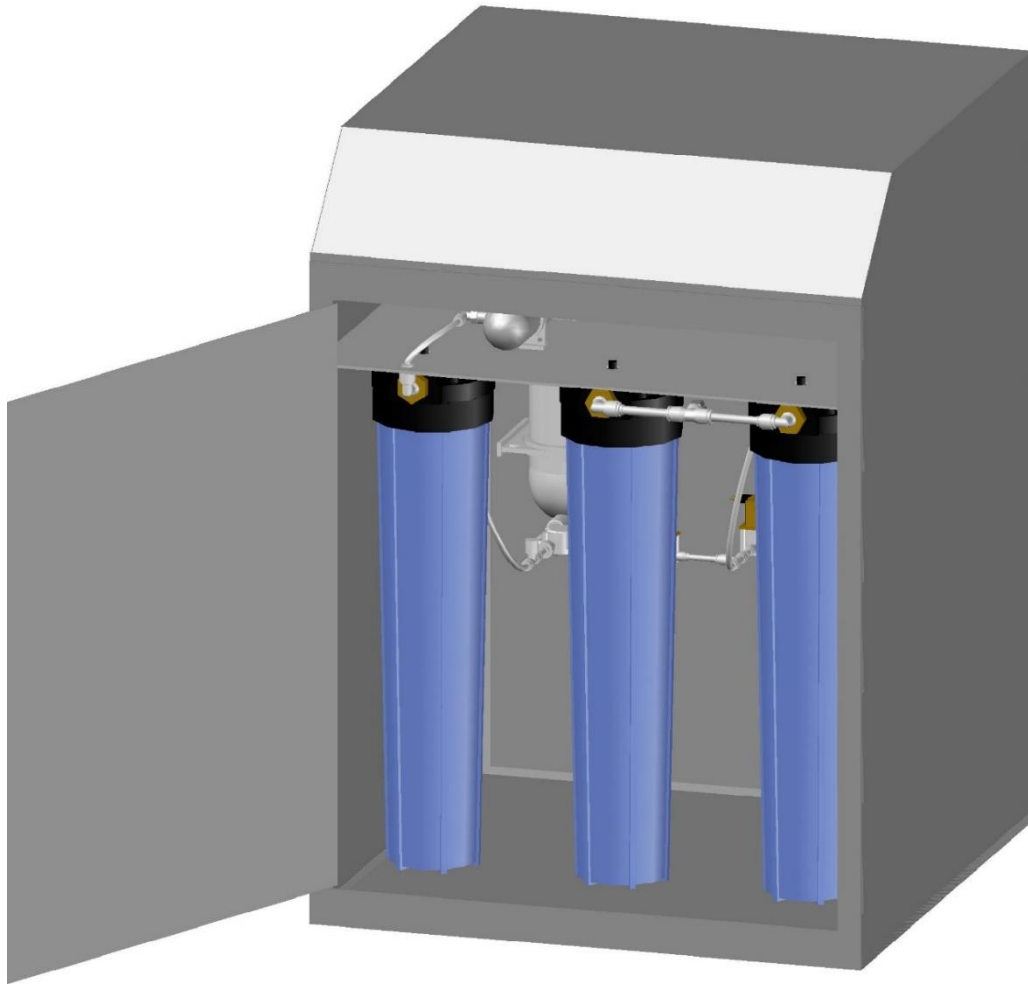


Ilustración 61. Diseño acceso rápido a los filtros de la planta.

El agregado de una puerta permite un acceso fácil y rápido para realizar un cambio de los filtros sin tener que interactuar con otros componentes.

Fuente: Creación por el autor.

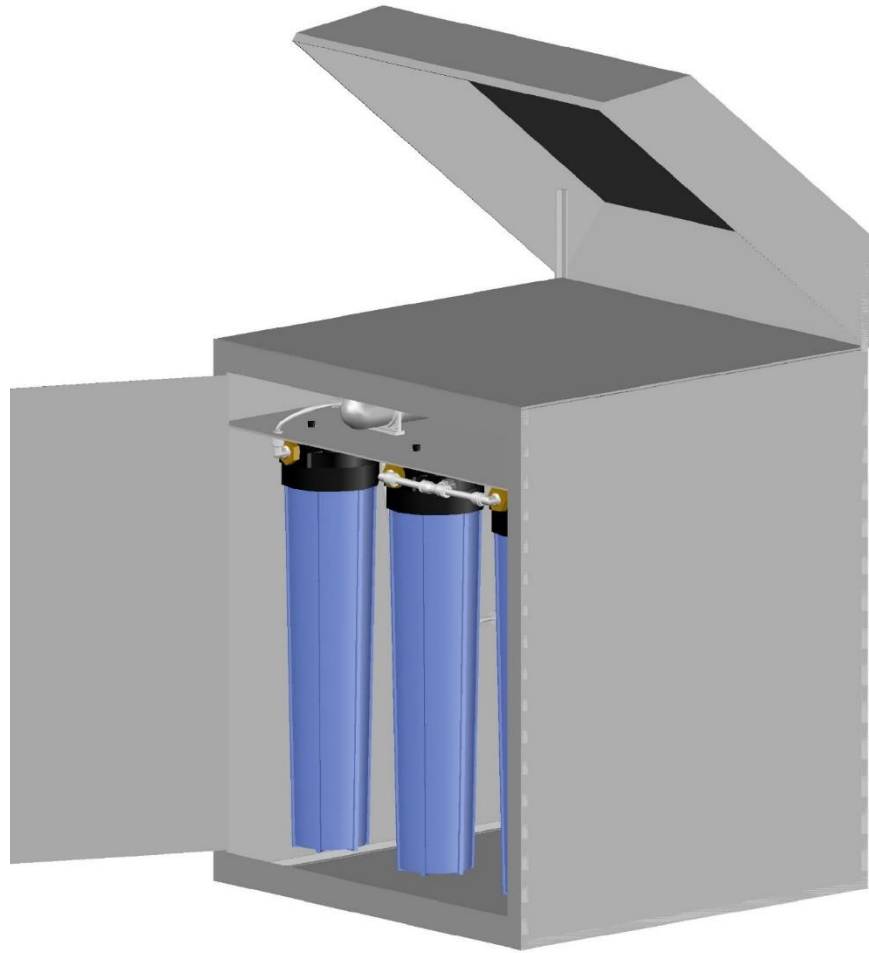


Ilustración 62. Diseño acceso rápido a parte electrónica de la planta.

Otra característica que debe tener la carcasa es el fácil acceso a la parte electrónica para realizar mantenimiento preventivo o correctivo, por tanto, se agrega una sección con bisagras en la parte superior de la planta.

Fuente: Creación por el autor.

Conclusiones

- Gracias a la investigación realizada previamente se logró conocer mediante la legislación internacional y nacional las diversas normas y/o leyes con las cuales se identifican las múltiples características físico químicas y microbiológicas del agua potable, tales como la norma 1575 de 2007, la cual se basa en la protección y control de la calidad que debe tener el agua potable para ser utilizada en los humanos; por otra parte también se da a conocer mediante esta investigación cual deberá ser la cantidad máxima permisible de los diferentes componentes que se agregan al momento de hacer un tratamiento de agua, regidos en Colombia por la resolución 12186 y 2115 los cuales permitirán obtener resultados mejores de los esperados bajo una normativa internacional que data cual deberá ser la condición y las características ideales que necesita tener el agua que se utiliza para la realización de una diálisis.

- Teniendo en cuenta los criterios establecidos en la metodología presentada en la investigación, se conocen los componentes propuestos que buscan obtener aquello que pueda resistir a las presiones y al caudal de los líquidos que se presentan en una planta de este tipo, todos estos componentes se seleccionaron con el fin que logren cumplir a los requerimientos de la misma y así de esta forma puedan suplir la cantidad de agua a tratar; esto en el caso de los filtros. Sin embargo se puede declarar que los dos componentes en los cuales se tuvieron cuidados especiales para elegirse fueron la bomba y la membrana de osmosis inversa, puesto que se requirieron de unos cálculos para poder obtener una operación correcta y que así mismo ofrezca lo deseado; en el

caso de la membrana se debió tener en cuenta el caudal máximo de permeado que se necesita para su vital funcionamiento, bajo este criterio se buscó membranas que suplieran con la necesidad requerida, existiendo variedades capaces de tratar, desde los 50 galones por día a los 600 galones por día, teniendo en cuenta que esto se daría en membranas de tamaño pequeño, es decir, membranas de menos de 50cm de longitud, la cual es deseada para que la planta llegue a ser portátil; ahora bien, teniendo en cuenta esto, se decide utilizar una membrana de 500 galones por día, debido a que esta será capaz de producir un poco más del máximo permeado requerido por la planta. De la misma manera, se obtiene conocimiento en el cual se registra que para la bomba también existen múltiples modelos con diferentes características cada uno, debido a esto, se requirió de cálculos que ayudaron a determinar el tipo y modelo de bomba que mejor funcione ante la membrana de osmosis, utilizada en esta planta.

- Teniendo en cuenta que la investigación realizada se basa en la creación de una planta de tratamiento de agua para el funcionamiento ideal de máquinas de hemodiálisis, se debió realizar diferentes diagramas, los cuales otorgaron una idea general de cuáles serían los diferentes componentes a utilizar en la misma, de igual forma, su ubicación y organización para su ideal funcionamiento; estos diagramas se logran teniendo en cuenta la función de cada uno de los componentes requeridos para tratar el agua y así mismo captar algunas de sus características, tales como, la presión, el caudal, la temperatura o la conductividad; pues estas son de gran utilidad para cuando se desea llevar a cabo un prototipo específico, el hecho de conocer dimensiones de los

componentes permitirá realizar un diseño en 3D otorgando de esta manera mayor información acerca del tamaño final que podrá presentar la máquina.

Recomendaciones

- Este documento es solamente teórico por tanto los cálculos realizados anteriormente son teóricos y aproximados a la realidad, sin embargo, al momento de la implementación puede existir una variación de estos resultados obtenidos, es aquí donde se debe hacer un nuevo cálculo utilizando las mediciones reales de los materiales usados como los accesorios (Tee, codos, etc.), teniendo en cuenta que no existen constantes para todos los materiales usados en esta máquina y se usaron valores aproximados de otros componentes, la razón es que se no se cuenta con ciertos accesorios al momento del realizar este documento y se requiere realizar mediciones físicas a los accesorios para hallar ciertas constantes usadas en los cálculos anteriores. No obstante, este documento presenta el procedimiento y una vez obtenidas las piezas a usar, solo será cuestión de medir y reemplazar valores en las ecuaciones para unos resultados más aproximados.
- Cuando se quiera diseñar el sistema de control para producir una cantidad de permeado deseado y estable, se debe tener en cuenta que no existe un modelo paramétrico que represente una membrana ósmosis inversa debido a su complejidad ya que el frecuente cambio en las características del agua hace que este tipo de sistemas presenten variables variantes en el tiempo debido a grado de ensuciamiento o incrustación presente en las perforaciones de las membranas, por tanto la estimación de su modelo paramétrico debe ser hallado mediante método de caja negra (Ijung , 2009), también es importante mencionar que la ósmosis inversa es un proceso multivariable donde se deben controlar

paralelamente dos variables de entrada (flujo y conductividad) y dos variables de salida (presión y caudal de salmuera).

- Al momento de diseñar el tipo de controlador, se debe considerar la cantidad de procesamiento acorde al microcontrolador usado ya que al ser sistemas multivariables requerirán de gran poder de procesamiento dependiendo del método a usar, por ejemplo, un sistema PID avanzado necesita menos poder de procesamiento en comparación a un control predictivo con controlador DMC.

Bibliografía

- Amaya Isea, E., & Goitia Parra, A. (1997). *Instrumentación Industrial* (Primera ed.). Maracaibo, Venezuela.
- Barrios Montes, E. M., & Barrios Taibel, D. P. (2009). *Ingeniería Conceptual De Un Proceso De Fabricación De Un Material Vía Microondas (2450 Mhz)*. Tesis, Universidad Industrial De Santander, Facultad De Ingeniería físico-Mecánicas, Bucaramanga.
- Bocos González, L. (2015). *Diseño de una planta de producción de agua para hemodialisis*. Valladolid.
- Burns, R. (2001). *Advanced Control Engineering*. Elsevier Science.
- Carbotecnia S.A. (2014). *Carbón activado*. Obtenido de Carbotecnia:
<https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/que-es-el-carbon-activado/>
- Corona Ramírez, L. G., Abarca Jiménez, G. S., & Mares Carreño, J. (2014). *Sensores y Actuadores*. Azcapotzalco, México D.F.: Grupo Editorial Patria.
- Creus Solé, A. (2010). *Instrumentación Industrial* (Octava ed.). (Alfaomega, Ed.) México.
- Daneri, P. A. (2008). *PLC Automatización y Control Industrial* (Primera ed.). Buenos Aires: HASA.
- de las Heras Jiménez, S. (2011). *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*. Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica.
- El Médico Interactivo. (25 de Abril de 2017). *Un informe mundial destaca la carga y el abandono de la enfermedad renal en todo el mundo*. Obtenido de Un informe mundial destaca la carga y el abandono de la enfermedad renal en todo el mundo:
<https://elmedicointeractivo.com/informe-mundial-destaca-carga-abandono-enfermedad-renal-todo-mundo-20170425155834111450/>

facilelectro. (19 de Marzo de 2018). *La Luz Ultravioleta (UV)*. Obtenido de facilelectro:

<https://www.facilelectro.es/luz-ultravioleta/>

González Álvarez, M. T., & Mallafré Andruig, J. M. (2010). *Nefrología. Conceptos básicos en atención primaria*. MARGE BOOKS.

Hernández, A. (1990). *Microfiltración, ultrafiltración y ósmosis inversa* (Vol. IV). (EDITUM, Ed.) Murcia: Universidad, Secretariado de Publicaciones.

Ibáñez, R. (2007). *Estudio de la ultrafiltración de proteínas modelo con membranas cerámicas*. Universidad de Granada, Ingeniería Química. Granada: Universidad de Granada.

Kuo, B. C. (1996). *Sistemas de Control Automático* (Septima ed.). (G. Aranda Pérez, Trad.) Mexico: PRENTICE HALL Hispanoamericana.

Lamb, F. (2013). *Industrial Automation: Hands On*. McGraw Hill Professional.

lenntech. (s.f.). *TDS y conductividad eléctrica*. Obtenido de lenntech.es:

<https://www.lenntech.es/calculadoras/tds/tdsyconductividad-electrica.htm>

Lenntech.es. (s.f.). *Tecnología de membrana*. Obtenido de Lenntech.es:

<https://www.lenntech.es/tecnologia-de-membrana.htm>

Ljung, L. (1998). *System Identification: Theory for the User*. Pearson Education.

logicbus. (s.f.). *Sensores de temperatura*. Obtenido de Sensores de temperatura:

<https://www.logicbus.com.mx/sensores-temperatura.php>

Ministerio de Salud. (20 de 9 de 1991). Resolución No. 12186. *Resolución No. 12186*. Bogotá,

Colombia: Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos. Obtenido de

<https://www.invima.gov.co/resoluciones-en-alimentos/resolucion-12186-1991->

[pdf/download.html](https://www.invima.gov.co/resoluciones-en-alimentos/resolucion-12186-1991-pdf/download.html)

National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases. (s.f.). *Hemodiálisis*. Obtenido de National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases:

<https://www.niddk.nih.gov/health-information/informacion-de-la-salud/enfermedades-rinones/metodos-tratamiento-insuficiencia-renal-hemodialisis>

Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna* (Quinta ed.). (S. Dormido Canto, & R. Dormido Canto, Trans.) Madrid: PRENTICE-HALL.

Otero Ramos, J. E. (s.f). *Instrumentacion Industrial en Instalaciones Petroleras*.

Pérez García, R. (1 de 10 de 2008). Papel fundamental del Sistema de Tratamiento del Agua (STA) en la calidad del agua para hemodiálisis. *Nefrología*, 28, 475-478. Obtenido de <http://www.revistanefrologia.com/es-papel-fundamental-del-sistema-tratamiento-articulo-X0211699508003904>

Pérez García, R., & Rodríguez Benítez, P. (2 de Agosto de 2016). Tratamiento del Agua y Líquido de Diálisis. (V. Lorenzo, & J. M. López-Gómez, Edits.) *Nefrología al día*. Obtenido de <https://www.nefrologiaaldia.org/es-articulo-tratamiento-del-agua-liquido-dialisis-133>

Pérez-García, R., & Rodríguez-Benítez, P. (s.f.). *LA CALIDAD DEL LÍQUIDO DE HEMODIÁLISIS*. Obtenido de Red Universitaria de Servicios Telemáticos Integrados para Comunidades Virtuales de Usuarios:
<https://www.uninet.edu/cin2001/html/conf/perez/perez.html>

Pérez-García, R., Anaya, F., Chisvert, J., & Valderrábano, F. (10 de Noviembre de 1995). Association of high-flux dialysers and bacterial contamination of dialysate-induced chronic release of cytokines in haemodialysis patients. *Nephrol Dial Transplant*.

Pérez-García, R., García Maset, R., Gonzalez Parra, E., Solozábal Campos, C., Ramírez

Chamond, R., Martín-Rabadán, P., . . . Ferllen, R. (1 de 5 de 2016). Guía de gestión de calidad del líquido de diálisis (LD) (segunda edición, 2015). *Nefrología*, 36, e1-e52.

doi:10.1016/j.nefro.2016.01.003

QuimiNet . (12 de Enero de 2012). *Descubra para qué sirven las resinas de intercambio iónico*.

Obtenido de QuimiNet : <https://www.quiminet.com/articulos/descubra-para-que-sirven-las-resinas-de-intercambio-ionico-2663450.htm>

Raffino, M. E. (29 de Agosto de 2019). *Filtración*. Obtenido de Concepto.de:

<https://concepto.de/filtracion/>

Real Academia Española. (2018). automático. *automático*. Diccionario de la lengua española.

Obtenido de <https://dle.rae.es/srv/fetch?id=4TO3M08>

Rivas Nieto, P. D. (2019). *Diseño de una máquina de ósmosis inversa para producir agua ultra pura en el laboratorio de manufactura de la PUCP*. Tesis , Pontifica universidad católica del Perú, Lima.

Serna Ruiz, A., Ros García, F. A., & Rico Noguera, J. C. (2010). *Guía Práctica de Sensores*. (C.

Copyright, Ed.) Obtenido de <https://books.google.es/books?id=CuoXCd6ZZqWC>

Servicio Riojano de Salud. (s.f.). *Qué es la insuficiencia renal*. Obtenido de Portal Sanitario de

La Rioja: <https://www.riojasalud.es/ciudadanos/catalogo-multimedia/nefrologia/que-es-la-insuficiencia-renal>

Tapia, F. L. (2011). *Tcae en hemodiálisis*. Málaga, España: Editorial Publicaciones Vértice.

Obtenido de <https://ebookcentral-proquest-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co>

TONG, M.-H., WANG, W., KWAN, T.-H., CHAN, L., & AU, T.-C. (1 de 4 de 2001). Water treatment for hemodialysis. (N. l. Elsevier, Ed.) *Hong Kong Journal of Nephrology*, 3, págs. 7-14. doi:10.1016/S1561-5413(09)60050-8

Torregrosa, I., Pérez, A., & Giménez, M. (1 de Febrero de 1998). Tratamiento del agua para hemodiálisis. *Nefrología*, 18. Obtenido de <https://www.revistanefrologia.com/es-tratamiento-del-agua-hemodialisis-articulo-X0211699598010059>

Weber, W. (1979). *Control de la calidad del agua procesos fisicoquímicos*. Barcelona: Reverte.

Obtenido de

https://books.google.com.co/books?id=TLpzh5HQYvgC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Anexos

Anexo A. Certificado participación RedCOLSI, Pasto – Colombia 2018



Anexo B. Invitación ESI 2019 – Abu Dabi – Emiratos árabes



Acta oficial de avales EXPOSCIENCES ESI 2019 (ABU DHABI – EMIRATOS ÁRABES) 22 al 28 de septiembre 2019

La Coordinación Nacional y de Relaciones Internacionales de la Fundación Red Colombiana de Semilleros de Investigación, en sus facultades legales emite a fecha de 09 de febrero de 2019, la primera relación oficial de los proyectos avalados internacionalmente: **EXPOSCIENCES ESI**, el cual se llevará a cabo en **ABU DHABI – EMIRATOS ÁRABES** durante el presente año.


Adicional los proyectos que se encuentran avalados a la ESI 2019 deberán cumplir con las directrices establecidas por la MILSET y tener presente las causantes de perdida de aval. (Ver al final fechas importantes)



26	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PORTÁTIL PATA GARANTIZAR EL FUNCIONAMIENTO DE LAS MÁQUINAS DE HEMODIÁLISIS EN EL INSTITUTO DE RIÑON DE SUCRE.	Ingenierías	[8605127804 - UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA CCAV COROZAL]	SUCRE
	JUSTICIA E INSTITUCIONES SÓLIDAS COMO OBJETIVO DE DESARROLLO		[8922012631 - CORPORACION	

Anexo C. Copia de los resultados físico – químicos y microbiológicos del agua potable en el municipio de Tierralta/Córdoba realizados en septiembre de 2019.

Resultados de una muestra tomada en la planta de tratamiento municipal.

		AMBIELAB LTDA REPORTE DE RESULTADOS	
Fecha de Revisión: 01/02/2019	Versión: 04	Código de Formato: FA-CLI-001	Página 1 de 1

Reporte de análisis No.: 19- 2526	Fecha de emisión: 21/09/2019
-----------------------------------	------------------------------

Cliente: EMPRESAS PUBLICAS MUNICIPALES DE TIERRALTA Dirección: CLL 12 # 22-40 B/ 19 DE MARZO - TIERRALTA	Ordenado por: ELENA LEYVA MEZA NIT ó C.C: 800,195,828-1
---	--

Tipo de muestra: Agua Tratada	Punto de recolección: PLANTA DE TRATAMIENTO - TIERRALTA
Recolectada por: JOSE GAVIRIA	Fecha/Hora de Recolección: 19/09/2019 09:05
Fecha/Hora de Recepción: 19/09/2019 15:35	Análisis Solicitados: Físicoquímico, Microbiológico
Plan de muestreo: Muestra externa	No. de submuestra: Dos (2)
Código interno muestra(s): EP-190919-14	Fecha Análisis: 19/09/2019

Parámetros Físicoquímicos	Método	Referencia	Resultado	Unidades	Resolución 2115/07
pH	Electrométrico	SM:4500-H+ B	7,40	pH	6,5 - 9,0
Conductividad	Electrométrico	SM:2510-B	134	µS/cm	N.R
Sólidos Disueltos Totales	Electrométrico	SM:2540 C	75,04	mg/L	MAX 500
Turbidez	Nefelométrico	SM:2130 B	<0,5	UNT	MAX 2,0
Color	Espectrofotométrico	SM:2120 C	<1,1	UPC	MAX 15
Dureza Total	Titulométrico	SM:2340 C	46,00	mg CaCO3/L	MAX 300
Cloruros	Titulométrico	SM:4500-Cl B	13,0	mg Cl-/L	MAX 250
Alcalinidad	Titulométrico	SM:2320 B	39,60	mg CaCO3/L	MAX 200
Olor	Organoléptico	SM:2150 B	Aceptable	---	Aceptable
Sabor	Organoléptico	SM:2160 B	Aceptable	---	Aceptable
Cloro Residual Libre	DPD Ferroso, Titulométrico	SM:4500-Cl F	1,10	mg Cl/L	0,3 - 2,0
Sulfatos	Turbidimétrico	SM:4500-SO ₄ E	9,79	mg SO ₄ ²⁻ /L	MAX 250
Aluminio	Espectrofotométrico	SM: 3500-Al B	<0,02	mg Al/L	MAX 0,2
Hierro	Espectrofotométrico	SM:3500-Fe B	<0,10	mg Fe/L	MAX 0,3


Parámetros Bacteriológicos	Método	Referencia	Resultado	Unidades	Resolución 2115/07
Coliformes Totales	FPM	SM:9222 B	0	ufc/100 cm ³	0
Coliformes Fecales	FPM	SM:9222 D	0	ufc/100 cm ³	0

N.R. - NO REFERENCIADO

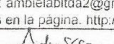

Observaciones:

NOTA IMPORTANTE:
 Los anteriores resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas; son de carácter confidencial y de propiedad del cliente. El Laboratorio asegura la confidencialidad de los resultados presentados en este informe. No se permite la reproducción parcial o total del informe sin la autorización escrita de AMBIELAB LTDA. AMBIELAB LTDA no se hace responsable del método de obtención de muestras ni de sus condiciones antes de recibirlas, cuando estos procedimientos no estuvieron a cargo del personal del laboratorio, por tanto, en estos casos no se harán interpretaciones con respecto a la representatividad o validez de las muestras.



Revisado por:


ROBERTO P. PATERNINA URIBE
 Q.F. MSc Ciencias Ambientales
 Director Técnico
 Registro Profesional 03005722302902244
 Colegio Nacional de Químicos Farmacéuticos

Calle 23 No. 2-31 - Montería - Colombia - Teléfonos 7920637-7919509 - 3116730542
 Email: ambielabltada@gmail.com - cliente: @ambielab.com.co NIT. 812004917-2
 Visitenos en la página: <http://ambielab.com.co/> - <http://ambielabltada2016.blogspot.com.co>

Revisado Coordinador de calidad: 	Aprobado por Gerente General: 
Fecha de revisión: 01/02/2019	Fecha de revisión: 01/02/2019

Resultados de una muestra tomada en un punto geográfico dentro de la zona urbana del municipio.

		AMBIELAB LTDA REPORTE DE RESULTADOS			
Fecha de Revisión: 01/02/2019	Versión: 04	Código de Formato: FA-CLI-001	Página 1 de 1		
Reporte de análisis No.: 19- 2527		Fecha de emisión: 21/09/2019			
Cliente: EMPRESAS PUBLICAS MUNICIPALES DE TIERRALTA Dirección: CLL 12 # 22-40 B/ 19 DE MARZO - TIERRALTA		O denado por: ELENA LEYVA MEZA NIT ó C.C: 800,195,828-1			
Tipo de muestra: Agua Tratada Recolectada por: JOSE GAVIRIA Fecha/Hora de Recepción: 19/09/2019 15:35 Plan de muestreo: Muestra externa Código interno muestra(s): EP-190919-15		Punto de recolección: LA INMACULADA - TIERRALTA Fecha/Hora de Recolección: 19/09/2019 09:25 Análisis Solicitados: Físicoquímico, Microbiológico No. de submuestra: Dos (2) Fecha Análisis: 19/09/2019			
Parámetros Físicoquímicos	Método	Referencia	Resultado	Unidades	Resolución 2115/07
pH	Electrométrico	SM:4500-H+ B	7,27	pH	6,5 - 9,0
Conductividad	Electrométrico	SM:2510-B	133	µS/cm	N.R
Sólidos Disueltos Totales	Electrométrico	SM:2540 C	74,48	mg/L	MAX 500
Turbidez	Nefelométrico	SM:2130 B	<0,5	UNT	MAX 2,0
Color	Espectrofotométrico	SM:2120 C	<1,1	UPC	MAX 15
Dureza Total	Titulométrico	SM:2340 C	40,00	mg CaCO3/L	MAX 300
Cloruros	Titulométrico	SM:4500-Cl B	12,0	mg Cl-/L	MAX 250
Alcalinidad	Titulométrico	SM:2320 B	33,80	mg CaCO3/L	MAX 200
Olor	Organoléptico	SM:2150 B	Aceptable	---	Aceptable
Sabor	Organoléptico	SM:2160 B	Aceptable	---	Aceptable
Cloro Residual Libre	DPD Ferroso Titulométrico	SM:4500-Cl F	0,70	mg Cl/L	0,3 - 2,0
Sulfatos	Turbidimétrico	SM:4500-SO ₄ E	10,65	mg SO ₄ ²⁻ /L	MAX 250
Aluminio	Espectrofotométrico	SM: 3500-Al B	<0,02	mg Al/L	MAX 0,2
Hierro	Espectrofotométrico	SM:3500-Fe B	<0,10	mg Fe/L	MAX 0,3
Parámetros Bacteriológicos	Método	Referencia	Resultado	Unidades	Resolución 2115/07
Coliformes Totales	FPM	SM:9222 B	0	ufc/100 cm ³	0
Coliformes Fecales	FPM	SM:9222 D	0	ufc/100 cm ³	0
N.R. - NO REFERENCIADO					
Observaciones:					
NOTA IMPORTANTE: Los anteriores resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas; son de carácter confidencial y de propiedad del cliente. El Laboratorio asegura la confidencialidad de los resultados presentados en este informe. No se permite la reproducción parcial o total del informe sin la autorización escrita de AMBIELAB LTDA. AMBIELAB LTDA no se hace responsable del método de obtención de muestras ni de sus condiciones antes de recibirlas, cuando estos procedimientos no estuvieron a cargo del personal del laboratorio, por tanto, en estos casos no se harán interpretaciones con respecto a la representatividad o validez de las muestras.					
Revisado por:					
 ROBERT PATERNINA URIBE Q.F. MSc Ciencias Ambientales Directo Técnico Registro Profesional 09.00572.2302902244 Colegio Nacional de Químicos Farmacéuticos					
Calle 23 No. 2 -31 - Montería - Colombia - Teléfonos 7920637-7919509 - 3116730542 Email: ambielabltida@gmail.com - clientes@ambielab.com.co NIT. 812004917-2 Visítenos en la página: http://ambielab.com.co/ - http://ambielabltida2016.blogspot.com.co					
Revisado Coordinador de calidad:		Aprobado por Gerente General:			
Fecha de revisión: 01/02/2019		Fecha de revisión: 01/02/2019			

Anexo D. Ficha técnica membrana TW30-3012-500



Product Data Sheet

DOW FILMTEC™ TW30-3012-500 Element

Description

DOW FILMTEC™ Residential Reverse Osmosis (RO) Elements are some of the most reliable and consistent elements manufactured in the industry. Advanced membrane technology and precision manufacturing result in elements produced to tight, pre-defined specifications with consistent RO element performance. Dow's focus on manufacturing excellence is an essential measure to ensure OEM and brand owner customers develop and maintain their reputation for building world class, reliable water purifiers that produce water consumers can trust.

DOW FILMTEC™ TW30-3012-500 Residential RO Elements offer high flow, reliable salt rejection, and long element life as expected for use in premium tankless purifier systems. The combination of FILMTEC™ patented membrane flat sheet technology and engineered element design is harnessed to achieve performance that enables improved design flexibility for premium tankless systems. A summary of the element features includes:

- Up to 20% higher flow versus competitive elements operated at the same pressure
- Stable, reliable performance even when treating high hardness waters
- 3012 element size for space-saving, compact purifier designs
- NSF International safety certification
- Dry shipping for convenient handling and long shelf-life

Product Type

Spiral-wound element with polyamide thin-film composite membrane

Product Specifications

DOW FILMTEC™ Element	Applied Pressure		Permeate Flow Rate		Typical Stabilized Salt Rejection (%)
	(psig)	(bar)	(GPD)	(L/m)	
TW30-3012-500	70	4.8	500	1.3	98

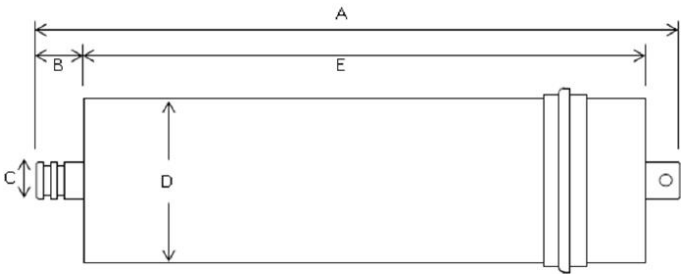
1. Permeate flow and salt rejection based on the following test conditions: 250 ppm NaCl, 77°F (25°C), pH 8.0, 40% recovery and the specified applied pressure.
2. Minimum salt rejection is 96.0%.
3. Permeate flows for individual elements may vary +25/-15%

Element Dimensions



COMPONENT

This component is Tested and Certified by NSF International against NSF ANSI Standard 58 for material requirements only.



	A		B		C		D		E	
DOW FILMTEC™ Element	(in.)	(mm.)	(in.)	(mm)	(in.)	(mm)	(in.)	(mm)	(in.)	(mm)
TW30-3012-500	11.74	298	0.875	22.2	0.68	17	2.95	74.9	10.25	260.4

1. TW30-3012 Residential Elements seal at a standard 3.0 inch – 3.05 inch I.D. within pressure vessels

Figure 1
Impact of Pressure on Target Permeate Flow
(constant temperature, recovery)

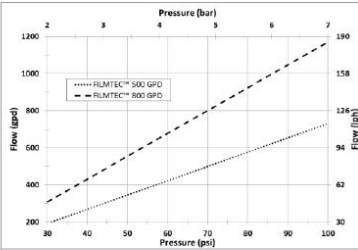
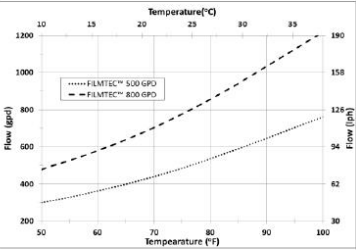


Figure 2
Impact of Temperature on Target Permeate Flow
(constant temperature, recovery)



Operating and Cleaning Limits

Maximum Operating Temperature ^a	113°F (45°C)
Maximum Operating Pressure	150 psig (10 bar)
Maximum Feed Flow Rate	2.5 gpm (9.5 lpm)
pH Range, Continuous Operation	2 – 11
Maximum Feed Silt Density Index (SDI)	SDI 5
Free Chlorine Tolerance ^b	< 0.1 ppm

^a Maximum temperature for continuous operation above pH 10 is 95°F (35°C).
^b Under certain conditions, the presence of free chlorine and other oxidizing agents will cause premature membrane failure. Since oxidation damage is not covered under warranty, Dow Water & Process Solutions recommends removing residual free chlorine by pretreatment prior to membrane exposure. Please refer to technical bulletin 609-22010 for more information.